

OAM REFERANS RAPORU

Cam Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler (MET) Referans Belgesi

Endüstriyel Emisyonlar Direktifi 2010/75/EU
(Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol)

SCALET Bianca Maria, GARCIA MUÑOZ
Marcos, SISSA Aivi Querol, ROUDIER Serge,
DELGADO SANCHO Luis

2013



Avrupa Komisyonu
Ortak Araştırma Merkezi
Prospektif teknolojik araştırmalar enstitüsü

İletişim bilgileri
Avrupa EKÖK Bürosu
Adres: Ortak Araştırma Merkezi, Edificio Expo c / Inca Garcilaso 3, E-41092 Sevilla, İspanya
E-posta: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Tel.: +34 95 4488 284
Faks: +34 95 4488 426

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>
<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/>

Bu yayın, Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezi tarafından hazırlanan bir Referans Raporudur.

Yasal Uyarı

Komisyon Belgelerinin Yeniden Kullanılmasına ilişkin 12 Aralık 2011 tarihli Komisyon Kararı ([2011/833/AB](#)) uyarınca, mevcut MET-Ref belgesi, belgede mevcut olabilecek üçüncü taraf haklarının kapsamına giren kısımlar (hakların daha sonra kullanılmak üzere ilgili hak sahiplerinden ayrı olarak alınması gereken resimler, tablolar, veriler, yazılı materyaller vb.) dışında, ücretsiz olarak yeniden kullanıma tabidir. Avrupa Komisyonu, bu yayının yeniden kullanımından kaynaklanan herhangi bir sonuçtan sorumlu değildir. Herhangi bir yeniden kullanımda, kaynağın belirtilmesi ve orijinal anlam veya mesajın bozulmaması gerekir.

Europe Direct, Avrupa Birliği ile ilgili sorularınıza yanıt bulmanıza yardımcı olan bir hizmettir.

Ücretsiz telefon numarası (*): 00 800 67 89 10 11

(*) Bazı cep telefonu operatörleri 00 800 numaralarına erişime izin vermeyebilir veya bu aramalar ücretlendirilebilir.

Avrupa Birliği hakkında çok daha fazla bilgiye İnternet üzerinden <http://europa.eu/> adresli Europa sunucusundan erişilebilir.

OAM 78091

EUR 25786 EN

ISBN 978-92-79-28284-3 (pdf)
ISBN 978-92-79-28285-0 (print)

ISSN 1831-9424 (çevrimiçi)
ISSN 1018-5593 (baskı)

doi:10.2791/69502

Lüksemburg: Avrupa Birliği Yayın Ofisi, 2013

© European Union, 2013

Kaynağın belirtilmesi koşuluyla çoğaltmaya izin verilir.

İspanya'da basılmıştır.

Cam Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler (MET)

Referans Belgesi

Endüstriyel Emisyonlar Direktifi 2010/75/AB
Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol

Yazarlar:

SCALET Bianca Maria,
GARCIA MUÑOZ Marcos,
SISSA Aivi Querol,
ROUDIER Serge,
DELGADO SANCHO Luis

2013

Teşekkür

Bu rapor, Avrupa Komisyonu'nun Ortak Araştırma Merkezi'nde (Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü (PTAE)) Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol Bürosu (EKÖKB) tarafından Serge Roudier (EKÖKB Başkanı) ve Luis Delgado Sancho'nun (Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Birim Başkanı) denetimi altında hazırlanmıştır.

Sayın Bianca Maria Scalet bu MET-Ref'in ana EIPPCB yazarıdır. Sayın Marcos García Muñoz ve Sayın Aivi Sissa Queirolo çalışmaları başlatmıştır.

Bu proje raporu, Endüstriyel Emisyonlar Direktifinin (2010/75/AB sayılı) uygulanması çerçevesinde hazırlanmış olup Direktifin 13. Maddesi kapsamında gerçekleştirilen bilgi alışverişinin bir sonucudur.

Bilgi alışverişine, Üye Devletler (Belçika, Bulgaristan, Danimarka, Almanya, İrlanda, İspanya, Fransa, İtalya, Lüksemburg, Macaristan, Hollanda, Avusturya, Polonya, Portekiz, Romanya, Finlandiya, İsveç, Birleşik Krallık), Avrupalı cam üreticilerini temsil eden sanayi birlikleri (CPIV) Avrupa Çevre Bürosu'nu temsilen, FEVE, Glass for Europe, APFE, European Domestic Glass, ESGA, EURIMA, ECFIA, ANFFECC) ve Ökopol katılım gösterdi.

EKÖKB ekibinin tamamı projeye katkıda bulunmuş ve akran değerlendirmesi desteği sağlamıştır.

Bu belge, aşağıda listelenen öngörülen belgeler serisinden bir belgedir (bu belgenin yazıldığı sırada aşağıdaki belgelerin tümünün taslağı hazırlanmamıştır):

Mevcut En İyi Teknikler Referans Belgesi	Kod
Seramik İmalat Sanayisi	CER
Kimyasal Sektöründe Ortak Atık Su ve Atık Gaz Arıtma/Yönetim Sistemleri	CWW
Depolama Kaynaklı Emisyonlar	EFS
Enerji Verimliliği	ENE
Demir İçeren Metalleri İşleme Sanayisi	FMP
Gıda, İçecek ve Süt Sanayileri	FDM
Endüstriyel Soğutma Sistemleri	ICS
Kümes Hayvanları ve Domuzlar İçin Yoğun Hayvancılık	IRPP
Demir-Çelik Üretimi	IS
Büyük Yakma Tesisleri	LCP
Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Amonyak, Asit ve Gübre Sanayileri	LVIC-AAF
Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi	LVIC-S
Büyük Hacimli Organik Kimyasal Sanayisi	LVOC
Madencilik Faaliyetlerinde Maden Atığı ve Atık Kaya Yönetimi	MTWR
<i>Cam Üretimi</i>	<i>GLS</i>
Organik İnce Kimyasalların İmalatı	OFC
Demir İçermeyen Metal Sanayii	NFM
Çimento, Kireç ve Magnezyum Oksit İmalat Sanayii	CLM
Klor-alkali üretimi	CAK
Polimer Üretimi	POL
Özel İnorganik Kimyasalların Üretimi	SIC
Kağıt Hamuru ve Kağıt Sanayii	PP
Madeni Yağ ve Gaz Rafinasyonu	REF
Kesimhaneler ve Hayvansal Yan Ürün Sanayii	SA
Demircilik ve Döküm Sanayii	SF
Metallerin ve Plastiklerin Yüzey İşlemleri	STM
Organik Çözücülerle Yüzey İşleme Endüstrisi	STS
Deri ve Post Tanenleme	TAN
Tekstil Sanayii	TXT
Atık Yakma	WI
Atık Arıtma Sanayii	WT
Ahşap ve Ahşap Ürünlerin Kimyasallarla Korunması	WPC
Ahşap Esaslı Panel Üretimi	WBP
Referans Dosya	
Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler	ECM
Genel İzleme İlkeleri	MON

Taslak ve tamamlanmış haldeki belgelerin elektronik sürümleri kamunun erişimine açıktır ve <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/> adresinden indirilebilir.

ÖN SÖZ

1. Belgenin Statüsü

Aksi belirtilmediği sürece, bu belgede 'Direktif'e yapılan atıflar, Avrupa Parlamentosu ve Konseyinin endüstriyel emisyonlar (entegre kirlilik önleme ve kontrolü) hakkındaki 2010/75/AB sayılı Direktifine (Değiştirilmiş) yapılmaktadır.

Cam Üretimine ilişkin mevcut en iyi teknikler (MET) referans belgesi (MET-Ref), 2001 yılında Avrupa Komisyonu tarafından kabul edilmiştir. Bu belge, söz konusu MET-Ref'in gözden geçirilmesi sonucunda hazırlanmıştır. İnceleme Mart 2006'da başlamıştır.

Cam Üretimi için MET Referans Belgesi, 2010/78/AB sayılı Direktifin 13(1). Maddesinde öngörüldüğü üzere MET referans belgelerinin hazırlanması, gözden geçirilmesi ve - gerekli olması durumunda - güncellenmesi amacıyla AB Üye Devletleri, ilgili endüstriler, çevrenin korunması için çalışan sivil toplum kuruluşları ve Komisyon arasında yapılan bilgi alışverişinin sonuçlarını ortaya koyan bir dizi belgeden oluşmaktadır. İşbu belge, ilgili Direktifin 13(6) Maddesi uyarınca Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmıştır.

İlgili Direktifin 13(5) Maddesinde belirtildiği üzere, 5. Bölümde yer alan MET sonuçlarına ilişkin 2012/134 sayılı Komisyon Uygulama Kararı (AB), 28 Şubat 2012 tarihinde kabul edilmiş olup 8 Mart 2012 tarihinde yayınlanmıştır ⁽¹⁾.

2. Bilgi alışverişine katılanlar

Direktifin 13(3) Maddesinde öngörüldüğü üzere; Komisyon, bilgi alışverişini ortamını teşvik etmek amacıyla Üye Devletlerin, ilgili sektörlerin ve çevrenin korunmasını teşvik eden sivil toplum kuruluşlarının temsilcilerinden oluşan bir forum oluşturmuştur (16 Mayıs 2011 tarihli, endüstriyel emisyonlara ilişkin 2010/75/AB sayılı Direktifin 13. Maddesi (2011/C146/03) uyarınca bilgi alışverişine yönelik bir forum oluşturulması hakkında Komisyon Kararı, RG C 146, 17.05.2011, s. 3).

Bu belgenin taslağının hazırlanması için ana bilgi kaynağı olan teknik çalışma grubunu (TÇG) oluşturan teknik uzmanları forum üyeleri belirlemiştir. TÇG'nin çalışmaları, Avrupa EKÖK Bürosu (Komisyon'un Ortak Araştırma Merkezi) tarafından yönetilmiştir.

3. Belgenin yapısı ve içeriği

1. ve 2. Bölümler, cam üretim sanayii ve bu sektörde kullanılan endüstriyel süreçler, teknikler hakkında genel bilgi verir.

3. Bölüm, sektörde ve belgenin yazıldığı dönemde faaliyet göstermekte olan tesislerin çevresel performansı ile ilgili güncel emisyonlar, tüketim ve hammaddelerin özellikleri, su tüketimi, enerji kullanımı ve atık üretimi ile ilgili veriler ve bilgiler verilmektedir.

4. Bölümde, MET'in belirlenmesinde dikkate alınan sektördeki tesislerin çevresel etkilerini önleme veya bunun uygulamada mümkün olmadığı durumlarda azaltma teknikleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Bu bilgiler, ilgili olduğu durumlarda; teknikler ile bu tekniklerle ilgili izleme faaliyetleri, maliyetler ve ortamlar arası hususlar kullanılarak elde edilebilecek çevresel performans seviyelerini (örn. emisyon ve tüketim seviyeleri) de içerir.

(1) ABRG L 70, 08.03.2012, s.1

5. Bölümde, Direktifin 3(12) Maddesinde tanımlandığı üzere MET sonuçları sunulmaktadır.
6. Bölümde, Direktifte Madde 3(14)'te tanımlanan 'yeni ortaya çıkan teknikler' hakkında bilgi verilmektedir.
7. Bölümde ise son değerlendirmeler ve gelecekte yapılacak çalışmalara ilişkin tavsiyeler sunulmaktadır.

4. Bilgi kaynakları ve MET'nin belirlenmesi

Bu belge, özellikle Direktifin 13. Maddesi uyarınca bilgi alışverişi için kurulmuş olan TÇG aracılığıyla bir dizi kaynaktan toplanan bilgileri esas almaktadır. Bilgiler, teknik uzmanlık, şeffaflık ve tarafsızlık ilkeleri uyarınca MET'i belirleme çalışmalarına öncülük eden Avrupa EKÖK Bürosu (Komisyonun Ortak Araştırma Merkezi bünyesinde) tarafından derlenmiş ve değerlendirilmiştir. TÇG'nin ve katkıda bulunan diğer herkesin çalışmaları için teşekkür edilmektedir.

MET sonuçları, aşağıdaki adımları içeren, yinelemeli bir süreç ile oluşturulmuştur:

- Sektöre ilişkin temel çevresel hususların belirlenmesi;
- Bu temel hususlara cevap verebilecek ilgili tekniklerin incelenmesi;
- Avrupa Birliği ve dünya çapında mevcut olan verilere dayanarak en iyi çevre performans seviyelerinin belirlenmesi;
- Bu çevresel performans seviyelerini elde etmek için gerçekleştirilen harcamalar ve tekniklerin uygulanmasına dair ortamlar arası etkiler ve itici güçler gibi koşulların incelenmesi;
- Direktifin 3(10) Maddesi ve Ek III kısmı uyarınca mevcut en iyi tekniklerin (MET), bunların ilgili emisyon seviyelerinin (ve diğer çevresel performans seviyelerinin) ve bu sektöre ilişkin ilgili izleme faaliyetlerinin seçilmesi.

Avrupa EKÖK Bürosu ve ilgili TÇG'nin uzman görüşleri, bu adımların her birinde ve bilgilerin sunulma şeklinde temel rol oynamıştır.

Mevcut olduğu durumlarda, ekonomik veriler Bölüm 4'te sunulan tekniklerin açıklamaları ile birlikte verilmiştir. Bu veriler, maliyetlerin ve faydaların büyüklüğü hakkında kabaca fikir verir. Ancak, bir tekniğin uygulanmasının gerçek maliyetleri ve faydaları, önemli ölçüde, bu belgede tam olarak değerlendirilemeyen ilgili tesisin özel durumuna bağlı olabilir. Maliyetlere ilişkin verilerin mevcut olmadığı durumlarda, tekniklerin ekonomik olarak uygulanabilirliğine ilişkin çıkarımlara mevcut tesislerin gözlemlenmesi sonucunda ulaşılmıştır.

5. MET referans belgelerinin (MET-Ref'ler) incelenmesi

MET dinamik bir kavramdır. Bu nedenle MET-Ref'lerin incelenmesi devam eden bir süreçtir. Örneğin, yeni tedbirler ve teknikler gündeme gelebilir. Bilim ve kullanılan teknolojiler sürekli olarak gelişme halindedir, geliştirilmekte olan veya yeni prosesler sanayide başarıyla yer almaktadır. Bu tür değişiklikleri ve bunların MET yönünden sonuçlarını yansıtmak amacıyla, bu belge de periyodik olarak gözden geçirilecek ve gerekli olması halinde uygun şekilde güncellenecektir.

6. İletişim bilgileri

Tüm yorumlar ve öneriler, aşağıda adresi verilen Institute for Prospective Technological Studies (IPTS)
- Avrupa IPPC Bürosuna yapılmalıdır.

Avrupa Komisyonu
Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü
Avrupa EKÖK Bürosu
Edificio Expo
c/ Inca Garcilaso, 3
E-41092 Sevilla, İspanya
Telefon: +34 95 4488 284
Faks: +34 95 4488 426
E-posta: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
İnternet: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

Cam Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler (MET) Referans Belgesi

ÖN SÖZ	I
KAPSAM	xxiv
1 GENEL BİLGİ	1
1.1 Endüstrinin yapısı	1
1.2 Giriş.....	2
1.2.1 Camın özellikleri.....	5
1.2.2 Cam türlerinin geniş sınıflandırması	6
1.2.3 Tarihi kökeni	7
1.3 Cam ambalaj.....	9
1.3.1 Sektöre genel bakış	9
1.3.2 Ürünler ve pazarlar	11
1.3.3 Ticari ve finansal hususlar	12
1.3.4 Başlıca çevresel sorunlar	13
1.4 Düz cam	13
1.4.1 Sektöre genel bakış	13
1.4.2 Ürünler ve pazarlar	15
1.4.3 Ticari ve finansal hususlar	16
1.4.4 Başlıca çevresel sorunlar	17
1.5 Kesintisiz cam elyaf.....	18
1.5.1 Sektöre Genel Bakış	18
1.5.2 Ürünler ve pazarlar	19
1.5.3 Ticari ve finansal hususlar	20
1.5.4 Başlıca çevresel sorunlar	20
1.6 Cam ev eşyaları.....	21
1.6.1 Sektöre genel bakış	21
1.6.2 Ürünler ve pazarlar	22
1.6.3 Ticari ve finansal hususlar	23
1.6.4 Başlıca çevresel sorunlar	24
1.7 Özel cam.....	25
1.7.1 Sektöre genel bakış	25
1.7.2 Ürünler ve pazarlar	26
1.7.3 Ticari ve finansal hususlar	28
1.7.4 Başlıca çevresel sorunlar	29

1.8	Mineral yün.....	29
1.8.1	Sektöre genel bakış.....	29
1.8.2	Ürünler ve pazarlar	31
1.8.3	Ticari ve finansal hususlar	31
1.8.4	Başlıca çevresel sorunlar.....	32
1.9	Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri.....	33
1.9.1	Sektöre genel bakış.....	33
1.9.2	Ürünler ve pazarlar	33
1.9.3	Ticari hususlar.....	35
1.9.4	Başlıca çevresel sorunlar.....	35
1.10	Fritler	36
1.10.1	Sektöre genel bakış.....	36
1.10.2	Ürünler ve pazarlar	37
1.10.3	Ticari hususlar.....	37
1.10.4	Başlıca çevresel sorunlar.....	38
2.	UYGULANAN PROSES VE TEKNİKLER	39
2.1	Malzemelerin taşınması.....	39
2,2	Cam ergitme.....	40
2.2.1	Cam yapımında kullanılan hammaddeler.....	40
2.2.2	Ergitme süreci.....	42
2.3	Ergitme teknikleri	45
2.3.1	Rejeneratif fırınlar.....	47
2.3.2	Konvansiyonel reküperatif fırın	49
2.3.3	Oksi-fuel ergitme	50
2.3.4	Elektrikli ergitme.....	50
2.3.5	Kombine fosil yakıt ve elektrikli ergitme.....	51
2.3.6	Kesintili harman ergitme.....	52
2.3.7	Özel fırın tasarımları.....	52
2,4	Cam ambalaj.....	53
2,5	Düz cam	57
2.5.1	Yüzdürme cam işlemi	57
2.5.2	Haddelenmiş işlem (desenli ve kablolu cam)	59
2.6	Kesintisiz cam elyaf.....	60
2.7	Cam ev eşyaları.....	62

2.8	Özel cam.....	64
2.9	Mineral yün.....	68
2.9.1	Cam yünü.....	68
2.9.2	Taş yünü	71
2.10	Yüksek sıcaklık yalıtımlı cam yünleri (ASW/RCF ve AES).....	74
2.11	Fritler	77
2.11.1	Frit üretim süreci	77
2.11.2	Frit üretiminde kullanılan ergitergitme fırınları.....	78
2.11.3	Sır ve emaye üretiminde hammadde olarak fritler.....	80
3	GÜNCEL TÜKETİM VE EMİSYON SEVİYELERİ.....	81
3.1	Giriş.....	81
3.2	Cam sanayiine genel bakış	82
3.2.1	Proses girdileri	82
3.2.2	Proses çıktıları.....	85
3.2.3	Enerji	91
3.2.4	Gürültü	96
3.3	Cam ambalaj.....	96
3.3.1	Proses girdileri	98
3.3.2	Hava emisyonları	99
3.3.3	Suya deşarjlar	112
3.3.4	Diğer atıklar	113
3.3.5	Enerji	113
3.4	Düz cam	116
3.4.1	Proses girdileri	116
3.4.2	Hava emisyonları	117
3.4.3	Suya deşarjlar	120
3.4.4	Diğer atıklar	120
3.4.5	Enerji	121
3.5	Kesintisiz cam elyaf.....	122
3.5.1	Proses girdileri	123
3.5.2	Hava emisyonları	124
3.5.3	Suya deşarjlar	127
3.5.4	Diğer atıklar	128
3.5.5	Enerji	129

3,6	Cam ev eşyaları.....	130
3.6.1	Proses girdileri	132
3.6.2	Hava emisyonları	133
3.6.3	Suya deşarjlar	135
3.6.4	Diğer atıklar	136
3.6.5	Enerji	136
3.7	Özel cam.....	137
3.7.1	Proses girdileri	138
3.7.2	Hava emisyonları	139
3.7.3	Suya deşarjlar	141
3.7.4	Diğer atıklar	141
3.7.5	Enerji	142
3.8	Mineral yün.....	142
3.8.1	Proses girdileri	142
3.8.2	Hava emisyonları	144
3.8.3	Suya deşarjlar	154
3.8.4	Diğer atıklar	155
3.8.5	Enerji	156
3.9	Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri.....	157
3.9.1	Proses girdileri	157
3.9.2	Hava emisyonları	158
3.9.3	Suya deşarjlar	159
3.9.4	Diğer atıklar	159
3.9.5	Enerji	159
3.10	Fritler	160
3.10.1	Proses girdileri	160
3.10.2	Hava emisyonları	161
3.10.3	Suya deşarjlar	163
3.10.4	Diğer atıklar	163
3.10.5	Enerji	164
4.	MET'İN BELİRLENMESİNDE DEĞERLENDİRİLEBİLECEK TEKNİKLER.....	165
4.1	Giriş.....	165
4,2	ErgitErgitme tekniğinin seçimi.....	169
4.2.1	Elektrikli ergitergitme.....	171

4.2.2	Fırınların işletilmesi ve bakımı	177
4.3	Malzemelerin depolanması ve taşınması için teknikler	179
4.3.1	Malzeme depolama teknikleri	179
4.3.2	Malzeme taşıma teknikleri	180
4.4	ErgitErgitme faaliyetlerinden havaya salınan emisyonların kontrolüne yönelik teknikler ..	181
4.4.1	Partikül madde	181
4.4.2	Azot oksitler (NO _x)	213
4.4.3	Sülfür oksitler (SOX)	258
4.4.4	Florürler (HF) ve klorürler (HCl)	276
4.4.5	Karbon oksitleri.....	279
4.5	ErgitErgitme dışı faaliyetlerden havaya salınan emisyonların kontrolüne yönelik teknikler 279	
4.5.1	Cam ambalaj.....	280
4.5.2	Düz cam.....	281
4.5.3	Kesintisiz cam elyaf	282
4.5.4	Cam ev eşyaları.....	282
4.5.5	Özel cam.....	283
4.5.6	Mineral yün	283
4.5.7	Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri	303
4.5.8	Fritler.....	305
4.6	Suya deşarjları kontrol etme teknikleri.....	305
4.7	Diğer atıkları en aza indirme teknikleri.....	308
4.8	Enerji.....	310
4.8.1	ErgitErgitme teknikleri ve fırın tasarımı	311
4.8.2	Yanma kontrolü ve yakıt seçimi.....	313
4.8.3	Cam kırıntılarının kullanımı.....	314
4.8.4	Atık ısı kazanı	316
4.8.5	harman ve kırıntı ön ısıtma;.....	318
4.9	Çevresel Yönetim Sistemleri	322
5.	CAM İMALATI İÇİN MET SONUÇLARI	326
	KAPSAM.....	326
	TANIMLAR	326
	Genel Hususlar.....	327
5.1	Cam imalatı için genel MET sonuçları.....	330
5.1.1	Çevresel Yönetim Sistemleri.....	330

5.1.2	Enerji verimliliği	331
5.1.3	Malzeme depolama, ambalaj ve sevk.....	331
5.1.4	Genel birincil teknikler	333
5.1.5	Cam imalat süreçlerinden suya deşarjlar	335
5.1.6	Cam imalat süreçlerinden kaynaklanan atıklar.....	337
5.1.7	Cam imalat süreçlerinden kaynaklanan gürültü	337
5.2	Cam ambalaj imalatı için MET sonuçları	338
5.2.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	338
5.2.2	ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO _x).....	338
5.2.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x).....	341
5.2.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	341
5.2.5	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	342
5.2.6	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	343
5.3	Düz cam imalatı için MET sonuçları	345
5.3.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	345
5.3.2	ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO _x).....	345
5.3.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x).....	347
5.3.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	348
5.3.5	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	348
5.3.6	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	350
5.4	Kesintisiz cam elyaf imalatı için MET sonuçları	351
5.4.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	351
5.4.2	ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO _x).....	352
5.4.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x).....	353
5.4.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	354
5.4.5	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	354
5.4.6	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	355
5.5	Cam ev eşyaları imalatı için MET sonuçları	356
5.5.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	356
5.5.2	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	357
5.5.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x).....	358
5.5.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	359
5.5.5	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	360
5.5.6	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	362

5.6	Özel cam imalatı için MET sonuçları	363
5.6.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	363
5.6.2	ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO _x).....	364
5.6.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x).....	366
5.6.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	366
5.6.5	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	367
5.6.6	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	367
5.7	Maden pamuğu imalatı için MET sonuçları.....	369
5.7.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	369
5.7.2	ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO _x).....	369
5.7.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x).....	371
5.7.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	372
5.7.5	Taş yünü ergitme fırınlarından salınan hidrojen sülfür (H ₂ S)	372
5.7.6	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	373
5.7.7	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	373
5.8	Yüksek sıcaklık yalıtım yünlerinin (HTIW) imalatı için MET sonuçları.....	375
5.8.1	ErgitErgitme ve ilave işlemlerden kaynaklanan toz emisyonları	375
5.8.2	ErgitErgitme ve ilave işlemlerden salınan azot oksitler (NO _x).....	376
5.8.3	ErgitErgitme ve ilave işlemlerden salınan kükürt oksitler (SO _x).....	376
5.8.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	377
5.8.5	ErgitErgitme fırınlarından ve ilave proseslerden salınan metaller.....	377
5.8.6	İlave işlemlerden kaynaklanan uçucu organik bileşikler	378
5.9	Frit imalatı için MET sonuçları.....	379
5.9.1	ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları.....	379
5.9.2	ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO _x).....	379
5.9.3	ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO _x)	380
5.9.4	ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)	381
5.9.5	ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller	381
5.9.6	İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar	382
Terimler Sözlüğü:		383
5.10	Tekniklerin tanımı.....	383
5.10.1	Toz emisyonları.....	383
5.10.2	NO _x emisyonları.....	383
5.10.3	SO _x emisyonları.....	385

5.10.4	HCl, HF emisyonları.....	385
5.10.5	Metal emisyonları.....	385
5.10.6	Kombine gaz emisyonları (örn. SO _x , HCl, HF, bor bileşikleri).....	386
5.10.7	Kombine emisyonlar (katı + gaz).....	386
5.10.8	Kesme, frezeleme, cilalama işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar.....	387
5.10.9	H ₂ S, UOB emisyonları.....	387
5.10.10	Toz emisyonları.....	387
5.10.11	NO _x emisyonları.....	388
5.10.12	SO _x emisyonları.....	389
5.10.13	HCl, HF emisyonları.....	389
5.10.14	Metal emisyonları.....	389
5.10.15	Kombine gaz emisyonları (örn. SO _x , HCl, HF, bor bileşikleri).....	390
5.10.16	Kombine emisyonlar (katı + gaz).....	390
5.10.17	Kesme, frezeleme, cilalama işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar.....	391
5.10.18	H ₂ S, UOB emisyonları.....	391
6.	GELİŞTİRİLMEKTE OLAN TEKNİKLER	392
6.1	Glas Flox® yüksek sıcaklıklı yakma sistemi.....	392
6.2	Gelişmiş cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcıları	393
6.2.1	PRECIOUS-projesi.....	393
6.2.2	PRAXAIR-BCP projesi.....	393
6.3	Yeni ürün reçeteleri	395
6.4.	Taş yünü üretim sürecinde atık enjeksiyonu.....	396
6.5	Daldırmalı yanmalı ergitme teknolojisi.....	397
6.6	Kuru sodyum bikarbonat ile baca gazlarının arıtılması ve gaz arıtma kalıntılarının kimyasal olarak değerlendirilmesi.....	399
6.7	Çeşitli kirleticilerin proses atık gazlarından uzaklaştırılması için seramik ve katalitik seramik filtrelerin uygulanması	400
6.8	Nanopartiküller için NASU elektrostatik toz tutucu	402
6.9	Yüklü sis yıkayıcı	404
7.	SON DEĞERLENDİRMELER VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALARA YÖNELİK ÖNERİLER.....	406
8.	EKLER	411
8.1	Ek I: Hava kirliliği kontrol maliyetlerinin ve ortamlar arası etkilerin tahmin yöntemi.....	411
8.1.1	Ekonomik değerlendirmeye dâhil edilen maliyetler	411
8.1.2	Farklı teknolojilerin maliyetlerinin karşılaştırılması	413
8.1.3	Hava kirliliği kontrolüne ait maliyet verileri	414

8.1.4	Birleşik sistemlerde HKK maliyetlerinin birden fazla kirletici tür arasında dağılımı.....	414
8.1.5	Ortamlar arası etkiler	415
8.1.6	Örnek maliyet hesaplaması	416
8.1.7	Cam ergitme fırınlarında kullanılan HKK sistemlerine ait maliyet verileri	418
8.2	Ek II: Endüstriyel cam fırınları için örnek kükürt dengeleri	433
8.3	Ek III: Emisyon İzleme	437
8.3.1	Temel Kirleticiler	437
8.3.2	Emisyonların izlenmesi.....	438
8.4	Ek IV: Konsantrasyonlardan kütle emisyonlarının belirlenmesi için çevirim katsayılarının hesaplanması.....	445
TERİMLER SÖZLÜĞÜ.....		447

Tablo listesi

Tablo 1. 1:	1996 (AB-15) ve 2005 (AB-25) yıllarında cam sanayiinde üretimin sektör bazında yaklaşık dağılımı.....	4
Tablo 1. 2:	Üye Devletlerdeki cam ambalaj tesislerinin dağılımı ve üretim.....	10
Tablo 1. 3:	Belirtilen üretim aralıklarındaki cam ambalaj tesislerinin sayısı.....	10
Tablo 1. 4:	2007'de AB-27'deki yüzdürme tanklarının sahipleri ve konumları.....	14
Tablo 1. 5:	2007'de AB-27'deki ortak girişim yüzdürme tankları	14
Tablo 1. 6:	AB-27'de 2007'de Üye Devletlerdeki yüzdürme tanklarının sayısı.....	14
Tablo 1. 7:	Belirtilen aralıklardaki yüzdürme kapasitesi yüzdesi	15
Tablo 1. 8:	AB-27 dahilinde kapasite kullanımının ve fazla düz cam üretiminin tahmini gelişimi.....	16
Tablo 1. 9:	Üye Devletlerdeki kesintisiz cam elyaf tesislerinin ve fırınlarının sayısı	19
Tablo 1. 10:	Belirtilen üretim aralıklarında kesintisiz cam elyaf fırınlarının sayısı.....	19
Tablo 1. 11:	2006 yılında Üye Devletlerdeki IPPC cam ev eşyası tesislerinin sayısı ve dağılımı	22
Tablo 1. 12:	2006 yılında belirtilen üretim aralıklarındaki cam ev eşyası tesislerinin sayısı (tahminler)	22
Tablo 1. 13:	2005 yılı için özel cam sektörünün incelemesi	26
Tablo 1. 14:	AB'de başlıca özel cam üretiminin coğrafi dağılımı	27
Tablo 1. 15:	Özel cam tesisleri için yatırım maliyetleri.....	28
Tablo 1. 16:	AB-27'deki mineral yün tesislerinin sayısı.....	30
Tablo 1. 17:	Belirtilen üretim aralıklarındaki mineral yün tesislerinin sayısı	30
Tablo 1. 18:	Üye Devletlerde HTIW tesislerinin dağılımı.....	33
Tablo 1. 19:	Toplam kapasitesi >20 ton/gün olan frit tesislerinin dağılımı (2008 tahmini).....	36
Tablo 1. 20:	Belirtilen üretim aralıklarındaki İspanya'da bulunan frit tesislerinin sayısı (tahminler)	36
Tablo 2. 1:	Cam yapımında kullanılan önemli hammaddeler	40
Tablo 2. 2:	Silikat camlara renk vermek için kullanılan elementler	41
Tablo 2. 3:	2005 yılında AB fırın tiplerinin tahmini (günlük >20 t kurulumlar için)	46
Tablo 2. 4:	Tipik cam ambalaj bileşimi	53
Tablo 2. 5:	Tipik soda-kireç silika düz cam bileşimi	57
Tablo 2. 6:	Genel uygulamalarda kullanılan cam elyaf ürünler için tipik E-cam bileşimi	60
Tablo 2. 7:	Baskı devre kartlarında ve havacılıkta kullanılan cam elyaf iplik ürünleri için tipik E-cam bileşimi	60
Tablo 2. 8:	Özel cam sektörünün ana ürünlerinin kimyasal bileşimi	67
Tablo 2. 9:	Tipik mineral yün bileşimleri	68
Tablo 2. 10:	ASW/RCF ve AES için kütle yüzdesi olarak tipik kimyasal bileşim aralıkları	74
Tablo 3.1:	Cam endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hammaddeler	83
Tablo 3.2:	Emisyon verilerinin referans koşulları.....	86
Tablo 3.3:	ErgitErgitme faaliyetlerinden atmosfere salınan emisyonların özeti	87
Tablo 3.4:	Metallerin ve bileşiklerinin sınıflandırılması.....	87
Tablo 3.5:	Azaltma olmaksızın cam işlemlerinden kaynaklanan ağır metal emisyonları potansiyeli	89
Tablo 3.6:	Geri dönüştürülen kırık içermeyen harman formülasyonlarından yaygın camların ergitilmesi için teorik enerji gereksinimleri	93

Tablo 3.7:	En yaygın endüstriyel camların üretimi için enerji çıktı dağılımı örnekleri.....	94
Tablo 3.8:	Çeşitli cam fırınları için özgül enerji tüketimi örnekleri	96
Tablo 3.9:	Büyük cam ambalaj üretim girdi ve çıktılarına genel bakış (gösterge değerler bir ton erimiş camı ifade eder).....	97
Tablo 3.10:	Cam ambalaj sektöründe kullanılan malzemeler.....	98
Tablo 3.11:	FEVE çalışmasından elde edilen fırın boyutları ve türlerine ilişkin istatistiksel veriler (2005 değerleri).....	100
Tablo 3.12:	Farklı cam renkleri için FEVE araştırmasından elde edilen, AB cam ambalaj fırınları için toplam kırık oranlarına ilişkin istatistiksel veriler (2005 değerleri)	101
Tablo 3.13:	FEVE araştırmasından (2005 verileri) farklı fırın türleri ve boyut aralıkları için spesifik ergitme enerjisi.....	102
Tablo 3.14:	FEVE araştırmasından alınan (referans yılı 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan toz emisyon değerleri	104
Tablo 3.15:	FEVE araştırmasından alınan (referans yılı 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyon değerleri	106
Tablo 3.16:	FEVE araştırmasından alınan, farklı yakıt türleri ve fırın teknikleri için cam ambalaj fırınlarından NO _x emisyonları (referans yıl 2005)	107
Tablo 3.17:	FEVE araştırmasından alınan (referans yıl 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyon değerleri	108
Tablo 3.18:	FEVE araştırmasından alınan (referans yıl 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan metal emisyon değerleri	110
Tablo 3.19:	Cam ambalaj için kalay klorür ile yüzey kaplama faaliyetlerinden kaynaklanan tipik azaltılmamış emisyon değerleri.....	111
Tablo 3.20:	SO ₃ ile cam ambalajın yüzey arıtımından kaynaklanan tipik azalmamış emisyon değerleri	111
Tablo 3.21:	Şişe/kavanoz ve flakon üretimi için FEVE araştırmasından alınan net ton ürün başına toplam doğrudan enerji tüketimi (tesis).....	114
Tablo 3.22:	Düz cam sektöründe kullanılan malzemeler	116
Tablo 3.23:	Avrupa'da düz cam sektöründe kurulu hava kirliliği kontrolü (APC) sistemlerine genel bakış	118
Tablo 3.24:	Azaltım sistemleri olan ve olmayan düz cam fırınlarından kaynaklanan emisyon seviyeleri	118
Tablo 3.25:	Kesintisiz cam elyaf sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış	122
Tablo 3.26:	Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan malzemeler	123
Tablo 3.27:	Baca gazlarının farklı sıcaklıklarında ve arıtma aşamalarında bor bileşiklerinin dağılımı	124
Tablo 3.28:	Kesintisiz cam elyaf fırınlarının emisyon seviyeleri	125
Tablo 3.29:	Cam ev eşyaları sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış	131
Tablo 3.30:	Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan malzemeler.....	132
Tablo 3.31:	Cam Ev Eşyaları fırınlarından havaya salınan emisyonların özeti	134
Tablo 3.32:	Arıtmadan sonra deşarj noktasında suda ölçülen tipik derişimler.....	136
Tablo 3.33:	Özel cam sektöründe kullanılan malzemeler.....	138
Tablo 3.34:	Girdi ve çıktılarına genel bakış, örn. cam seramik, borosilikat cam tüpler ve soda-kireç cam ampul prosesleri	139
Tablo 3.35:	Mineral yün sektöründe kullanılan malzemeler	143

Tablo 3.36:	Mineral yün sektöründeki ana proses faaliyetleri için atık gaz hacimleri	144
Tablo 3.37:	2005 yılında AB-27'deki mineral yün ergitme fırınlarından kaynaklanan emisyonların tam aralığı.....	146
Tablo 3.38:	Cam yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları (2005 yılı)	147
Tablo 3.39:	Cam yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları (2005 yılı)	148
Tablo 3.40:	Cam yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları (2005 yılı)	148
Tablo 3.41:	Cam yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan HCl, HF ve CO emisyonları (2005 yılı)	149
Tablo 3.42:	Taş yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan toz, SO _x , NO _x , HCl ve HF emisyonları (2005 yılı)	150
Tablo 3.43:	Taş yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan H ₂ S, CO, CO ₂ ve metal emisyonları (2005 yılı)	151
Tablo 3.44:	2005 yılı için cam yünü üretim sektöründeki ilave işlemlerden kaynaklanan tüm emisyonlar	153
Tablo 3.45:	2005 yılı için taş yünü üretim ilave işlemlerinden kaynaklanan tüm emisyonlar	153
Tablo 3.46:	Mineral yün sektöründe katı atık üretimi ve bertarafı	156
Tablo 3.47:	Mineral yün üretiminde enerji kullanımı	156
Tablo 3.48:	Yüksek ısı yalıtım yünleri sektöründe kullanılan malzemeler	157
Tablo 3.49:	Frit üretiminde kullanılan ana hammaddeler	160
Tablo 3.50:	Frit sektörü için ergitme fırınlarından kaynaklanan tipik emisyon seviyeleri	161
Tablo 3.51:	Farklı yakma koşulları ve harman formülasyonları ile çalışan frit üretim tesislerinden NO _x emisyon seviyeleri örnekleri	162
Tablo 4.1:	Bu bölümde tanımlanan her bir teknik için verilen bilgiler	166
Tablo 4.2:	Elektrikli ergitme fırınının başlıca avantaj ve dezavantajları	173
Tablo 4.3:	Cam ev eşyası sektöründe (kristal ve kurşun kristal cam) elektrikli ergitme uygulaması için örnek tesis	174
Tablo 4.4:	Özel cam sektöründe elektrikli ergitme uygulaması için örnek tesis	176
Tablo 4.5:	Toz azaltma için birincil tekniklerin temel avantajları ve dezavantajları	189
Tablo 4.6:	Elektrostatik toz tutucularının temel avantajları ve dezavantajları	194
Tablo 4.7:	Örnek kurulumlarda ESP'lerin kullanımıyla ilişkili toz emisyon seviyeleri	196
Tablo 4.8:	Düz cam, cam ambalaj, özel cam ve mineral yün cam imalatına uygulanan elektrostatik toz tutucularının fiili maliyet örnekleri özeti	200
Tablo 4.9:	Torbalı filtrelerin temel avantajları ve dezavantajları	205
Tablo 4.10:	İki özel cam sektörü tesisinde uygulanan torba filtrelerin gerçek maliyetlerine örnekler	209
Tablo 4.11:	Siklonların temel avantajları ve dezavantajları	211
Tablo 4.12:	Yüksek sıcaklık filtrelerinin temel avantajları ve dezavantajları	212
Tablo 4.13:	Yaş yıkayıcıların temel avantajları ve dezavantajları	213
Tablo 4.14:	Yanma değıştirimlerinin temel avantajları ve dezavantajları	218
Tablo 4.15:	Yanma değıştirimlerinin uygulanmasıyla ilişkili NO _x emisyon seviyeleri örnekleri	219
Tablo 4.16:	Oksi-fuel ergitme fırınının temel avantajları ve dezavantajları	233

Tablo 4.17:	Örnek tesislerde oksji-yakıt ergitergitme kullanımıyla ilişkili NO _x emisyon seviyeleri	234
Tablo 4.18:	Cam ambalaj ve özel cam sektörlerine uygulanan oksji-yakıt ergitergitme işleminin fiili ve tahmini maliyetlerine örnekler.	239
Tablo 4.19:	3R tekniğinin temel avantajları ve dezavantajları	243
Tablo 4.20:	Örnek tesislerde SCR tekniğinin kullanımıyla ilişkili NO _x emisyon seviyeleri	248
Tablo 4.21:	SCR ile donatılmış bir düz cam fırınından gelen süreksiz NO _x emisyon ölçümlerinin sonuçları	249
Tablo 4.22:	SCR tekniğinin temel avantajları ve dezavantajları	250
Tablo 4.23:	Cam ambalaj, düz cam ve özel cam üreten tesislerde SCR tekniğinin kullanımına ilişkin maliyet verileri	253
Tablo 4.24:	SCR tekniği ile çalışan tesisler ve çalışma parametreleri	254
Tablo 4.25:	SNCR tekniğinin temel avantajları ve dezavantajları	256
Tablo 4.26:	Farklı yakıtlar için soda-kireç cam fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonlarının gösterge niteliğindeki aralıkları	259
Tablo 4.27:	Gösterge niteliğinde Ca(OH) ₂ ile kuru soğurma verimlilikleri	266
Tablo 4.28:	Ca(OH) ₂ ile kuru yıkama için gösterge niteliğindeki SO _x azaltma oranları	266
Tablo 4.29:	Na ₂ CO ₃ ile kuru yıkama için gösterge niteliğindeki SO _x azaltma oranları	266
Tablo 4.30:	Farklı soğurma reaktifleri ve işletim koşulları ile kuru yıkamada asit gazlı kirleticilerin gerçek giderme verimleri	267
Tablo 4.31:	Na ₂ CO ₃ solüsyonu ile yarı kuru yıkama için gösterge niteliğindeki SO _x azaltma oranları	267
Tablo 4.32:	Ca(OH) ₂ ile yarı kuru yıkama için SO _x azaltma oranları	267
Tablo 4.33:	Kuru ve yarı kuru yıkamanın temel avantajları ve dezavantajları	270
Tablo 4.34:	Örnek kurulumlarda bir filtreleme sistemiyle birlikte kuru yıkama kullanımıyla ilişkili emisyon seviyeleri	270
Tablo 4.35:	Örnek bir kurulumda özel cam üreten elektrikli fırına yaş yıkama uygulamasıyla ilişkili emisyon seviyeleri	276
Tablo 4.36:	Bir cam yünü tesisinin şekillendirme alanından salınan katı ve gaz emisyonları	291
Tablo 4.37:	Islak elektrostatik toz tutucuların (WESP'ler) başlıca avantajları ve dezavantajları	292
Tablo 4.38:	Taş yünü filtrelerin temel avantajları ve dezavantajları	293
Tablo 4.39:	Atık gaz yakmanın başlıca avantajları ve dezavantajları	298
Tablo 4.40:	Maden pamuğu sektöründeki ergitergitme harici faaliyetlerden havaya salınan emisyonlar için farklı tekniklerin uygulanmasıyla elde edilebilecek genel değerler	302
Tablo 4.41:	Maden pamuğu sektöründe ergitergitme dışı faaliyetler için azaltma tekniklerinin yatırım ve işletme maliyetleri	303
Tablo 4.42:	Cam sanayiinde kullanıma yönelik potansiyel atık su arıtma teknikleri listesi	307
Tablo 4.43:	Enerji kullanımını en aza indirmek için mevcut tekniklerin/tedbirlerin uygulanmasıyla elde edilen tipik özgül enerji tüketim değerleri	310
Tablo 4.44:	Cam sanayiinin farklı sektörlerinde kullanılan atık ısı kazanlarının örnek kurulumları	317
Tablo 4.45:	Cam ambalaj fırınında doğrudan harman ve kırıntı ön ısıtıcısı uygulamasında örnek kurulum	321
Tablo 5.1:	Hava emisyonlarıyla ilgili MET-İES'ler için referans koşullar	327

Tablo 5.2:	Enerji verimli yakıt-hava ile çalışan fırınlar temel alınarak belirlenen, mg/Nm ³ 'ü kg/ton ergitilmiş cam'a dönüştürmek için kullanılan göstergesel faktörler.....	329
Tablo 5.3:	ErgitErgitme fırınlarından kaynaklanan karbon monoksit emisyonları için MET-İES'ler	334
Tablo 5.4:	SCR veya SNCR tekniklerinin uygulandığı durumlarda amonyak emisyonları için MET-İES'ler	334
Tablo 5.5:	Cam imalatından yüzey sularına atık su boşaltımına ilişkin MET-İES'ler.....	336
Tablo 5.6:	Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler.....	338
Tablo 5.7:	Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler.....	340
Tablo 5.8:	Cam ambalaj sektöründe; harman reçetesinde nitratlar kullanıldığında ve/veya kısa çalıştırma sürelerinin uygulandığı durumlarda veya <100 kapasiteli ergitergitme fırınları için, ergitergitme fırınlarından çıkan NO _x emisyonları için MET-İES.....	340
Tablo 5.9:	Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler.....	341
Tablo 5.10:	Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler.....	342
Tablo 5.11:	Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler.....	342
Tablo 5.12:	Cam ambalaj sektöründe ilave işlemlerin baca gazlarının birbirinden ayrı arıtıldığı durumlarda, sıcak kaplama faaliyetlerinden hava emisyonları için MET-İES'ler.....	343
Tablo 5.13:	Cam ambalaj sektöründe yüzey işleme faaliyetlerinde SO ₃ 'ün kullanıldığı ve ayrı arıtma yapıldığı durumlarda, ilave faaliyetlerden salınan SO _x emisyonları için MET-İES.....	344
Tablo 5.14:	Düz cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler.....	345
Tablo 5.15:	Düz cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler.....	346
Tablo 5.16:	Düz cam sektöründe, özel camların üretimindeki sınırlı sayıda kısa çalıştırmada harman reçetesinde nitrat kullanılan durumlarda ergitergitme fırınından salınan NO _x emisyonları için MET-İES	347
Tablo 5.17:	Düz cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler.....	348
Tablo 5.18:	Düz cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler.....	348
Tablo 5.19:	Selenyumla renklendirilen camlar hariç, düz cam sektöründeki ergitergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler.....	349
Tablo 5.20:	Düz cam sektöründe renkli cam üretimi için kullanılan ergitergitme fırınından kaynaklanan selenyum emisyonları için MET-İES'ler.....	349
Tablo 5.21:	Düz cam sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler.....	350
Tablo 5.22:	Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler.....	351
Tablo 5.23:	Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler.....	352

Tablo 5.24: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler.....	353
Tablo 5.25: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler	354
Tablo 5.26: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler	355
Tablo 5.27: Kesintisiz cam elyaf sektöründe, ayrı olarak arıtılan ilave süreçler için MET-İES'ler	355
Tablo 5.28: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler	356
Tablo 5.29: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	357
Tablo 5.30: Cam ev eşyaları sektöründe sınırlı sayıda kısa çalıştırmalar için veya özel tip soda-kireç camları (berrak/ultra-berrak cam veya selenyumla renklendirilmiş cam) üreten <100 t/gün kapasiteli ergitergitme fırınları için harman reçetelerinde nitratların kullanıldığı durumlarda ve diğer özel camlar (borosilikat, cam seramikler, opal cam, kristal ve kurşunlu kristal) için NO _x emisyonlarına ilişkin MET-İES'ler.....	358
Tablo 5.31: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler	359
Tablo 5.32: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler	360
Tablo 5.33: Renk giderme için selenyumun kullanıldığı camlar hariç, düz cam sektöründeki ergitergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler	360
Tablo 5.34: Cam ev eşyaları sektöründe camın rengini gidermek için selenyum bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınından çıkan selenyum emisyonları için MET-İES'ler	361
Tablo 5.35: Cam ev eşyaları sektöründe kurşunlu kristal cam üretimi için kurşun bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınından çıkan kurşun emisyonları için MET-İES'ler.....	361
Tablo 5.36: Cam ev eşyaları sektöründeki ilave tozlu işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler	362
Tablo 5.37: Cam ev eşyaları sektöründeki asitle parlatma işlemlerinden çıkan HF emisyonlarının ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler	362
Tablo 5.38: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler	363
Tablo 5.39: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	365
Tablo 5.40: Özel cam sektöründe harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	365
Tablo 5.41: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler	366
Tablo 5.42: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler	367
Tablo 5.43: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler	367
Tablo 5.44: Özel cam sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı durumlar için toz ve metal emisyonlarına ilişkin MET-İES'ler	368
Tablo 5.45: Özel cam sektöründeki asitle parlatma işlemlerinden çıkan HF emisyonları için MET-	

İES'ler	368
Tablo 5.46: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler	369
Tablo 5.47: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	370
Tablo 5.48: Cam yünü sektöründe harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	370
Tablo 5.49: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler	371
Tablo 5.50: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler	372
Tablo 5.51: Taş yünü üretiminde ergitergitme fırınından salınan H ₂ S emisyonları için MET-İES'ler	372
Tablo 5.52: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler	373
Tablo 5.53: Maden pamuğu sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak artıldığı durumlar için MET-İES'ler	374
Tablo 5.54: HTIW sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler	375
Tablo 5.55: HTIW sektöründeki ilave tozlu işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak artıldığı durumlar için MET-İES'ler	376
Tablo 5.56: HTIW sektöründe yağlayıcı yakma fırınından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	376
Tablo 5.57: HTIW sektöründeki ergitergitme fırınlarından ve ilave süreçlerden kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler	376
Tablo 5.58: HTIW sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler	377
Tablo 5.59: HTIW sektöründeki ergitergitme fırınlarından ve/veya ilave süreçlerden kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler	377
Tablo 5.60: HTIW sektöründe yağlayıcı yakma fırınından kaynaklanan UOB emisyonlarının ayrı olarak artıldığı durumlar için MET-İES'ler	378
Tablo 5.61: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler	379
Tablo 5.62: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları için MET-İES'ler	380
Tablo 5.63: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları için MET-İES'ler	381
Tablo 5.64: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler	381
Tablo 5.65: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler	382
Tablo 5.66: Frit sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak artıldığı durumlar için MET-İES'ler	382
Tablo 6. 1: Katalitik seramik filtre kurulumları için çevresel performansa genel bakış	401

Tablo 7.1:	Görüş ayrılıkları	408
Tablo 8. 1:	Kimyasal ve elektrik tüketimiyle ilişkili dolaylı emisyonlar	416
Tablo 8. 2:	700 ton/gün kapasiteli gaz yakıtlı flot cam fırını için örnek maliyet hesaplaması (ESP + Ca(OH) ₂ yıkayıcı)	416
Tablo 8. 3:	Cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarına uygulanan elektrostatik toz tutucu + kuru yıkamalı hava kirliliği kontrol sistemleri için tahmini maliyetler	419
Tablo 8. 4:	Cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarına uygulanan torbalı filtreli + yıkamalı hava kirliliği kontrol sistemleri için tahmini maliyetler	421
Tablo 8. 5:	Cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarından salınan SO _x , HCl, HF ve diğer gaz halindeki kirleticilerin uzaklaştırılmasına yönelik yöntemlerin karşılaştırılması	423
Tablo 8. 6:	Toz ve SO _x 'in azaltılması için cam fırınlarına uygulanan farklı hava kirliliği kontrolü (HKK) tekniklerine özel maliyetlere genel bakış	425
Tablo 8. 7:	NO _x emisyonlarının azaltılması için birincil tedbirlerin uygulanmasıyla ilişkili tahmini örnek maliyetler ve ilgili doğrudan ve dolaylı emisyonlar	427
Tablo 8. 8:	NO _x emisyonlarının azaltılması için ikincil tedbirlerin uygulanmasına ilişkin tahmini örnek maliyetler	429
Tablo 8. 9:	DeNO _x tekniklerinin uygulanmasıyla ilgili ek maliyetler (Euro/ton erimiş cam cinsinden)	430
Tablo 8. 10:	Farklı cam fırınları ve farklı hava kirliliği kontrol (HKK) teknikleri için bir ton erimiş cam başına tahmini dolaylı emisyonlar	431
Tablo 8. 11:	Maden pamuğu üretim sürecinde kullanılan hammaddeler ve tipik kükürt içeriği	435
Tablo 8. 12:	Yaygın kırıntı türlerinin tipik SO ₃ içeriği	435
Tablo 8. 13:	Cam sanayiinde ölçümlerde dikkate alınması muhtemel olan başlıca kirleticiler	437
Tablo 8. 14:	Sürekli izleme teknikleri	441
Tablo 8. 15:	Emisyonların sürekli izlenmesinde kütle akış eşikleri	441
Tablo 8. 16:	Sürekli olmayan izleme teknikleri	442
Tablo 8. 17:	Cam ergitergitme fırınlarından kaynaklanan emisyonların ölçümü için tespit sınır değerleri örneği	444
Tablo 8. 18:	Cam sanayiinde emisyonların ölçümü için tespit sınır değerleri ve genişletilmiş belirsizlikler örneği	444
Figure 8. 1:	Tam filtre tozu geri dönüşümüne sahip bir flot cam fırını için kükürt dengesi	434
Şekil 8.2 :	Kısmi filtre tozu geri dönüşümlü bir cam ambalaj fırını için kükürt dengesi	434
Şekil 8. 3:	Filtre tozu geri dönüşümlü bir oksî-fuel cam yünü fırını için şematik kükürt dengesi ..	436

Şekil listesi

Şekil 1. 1:	Sektöre göre üretim gelişimine ilişkin grafik (2004'ten sonraki veriler AB-25'e atıfta bulunur)	4
Şekil 1. 2:	600 °C'nin üzerinde ve 1800 °C'ye kadar en yaygın kullanılan yüksek sıcaklık yalıtım yünleri	34
Şekil 2. 1:	Yandan ateşlemeli rejeneratif fırın.....	47
Şekil 2. 2:	Bir rejeneratif fırının kesit görünümü.....	48
Şekil 2. 3:	Tek geçişli arkadan ateşlemeli rejeneratif fırın	48
Şekil 2. 4:	Arkadan ateşlemeli rejeneratif fırının planı	49
Şekil 2. 5:	Presleme-üfleme ile şekillendirme ve üfleme-üfleme ile şekillendirme	55
Şekil 2. 6:	Yüzdürme cam işlemi	58
Şekil 2. 7:	Cam haddeleme işlemi.....	59
Şekil 2. 8:	Cam nesnelerin şekillendirilmesine yönelik presleme işlemi	63
Şekil 2. 9:	Cam nesnelerin şekillendirilmesine yönelik döndürme işlemi.....	63
Şekil 2. 10:	Tipik bir cam yünü tesisi.....	68
Şekil 2. 11:	Tipik cam yünü proses suyu devresi	70
Şekil 2. 12:	Tipik bir taş yünü fabrikası	71
Şekil 2. 13:	Tipik bir sıcak hava kupol fırını	72
Şekil 2. 14:	Paralel üfleme yöntemi	75
Şekil 2. 15:	Yatay üfleme yöntemi	75
Şekil 2. 16:	Eğirme prosesi.....	75
Şekil 2. 17:	Frit üretim sürecinin şematik bir temsili.....	77
Şekil 2. 18:	Oksijenle zenginleştirilmiş, yakıt/hava yanması ve ısı geri kazanımı ve oksijen ve oksijen-yakıt yakma içeren, frit üretimi için tipik ergitme fırınları şematik gösterimi	79
Şekil 2. 19:	Oksijen-fuel yanma ve oksijen ve oksijen-fuel yanma içeren, frit üretimi için tipik ergitme fırınları şematik gösterimi	79
Şekil 3.1:	Bir cam ambalaj fabrikasında tipik su dağılımı	90
Şekil 3.2:	FEVE araştırmasından alınan, şişe üretimindeki toplam ergitme enerjisi için eğilim eğrileri (2005 verileri – elektrik desteği veya oksijen üretimi için kullanılan birincil enerji dâhil değildir)	103
Şekil 3.3:	Tipik bir şişe/kavanoz cam ambalaj fabrikasında enerji kullanımı (parfüm/kozmetik eşya üretimini temsil etmez).....	113
Şekil 3.4:	GJ/ton erimiş cam olarak ifade edilen ve %50 cam kırıntısına göre standartlaştırılmış cam ambalaj fırınlarındaki ortalama enerji tüketimi (2005).....	115
Şekil 3.5:	Tipik bir yüzdürme cam prosesi için enerji kullanım dağılımı	121
Şekil 3.6:	Kesintisiz cam elyaf kurulumu için su dengesi örneği.....	128
Şekil 3.7:	Tipik bir kesintisiz cam elyaf üretim sürecinde doğrudan enerji kullanımı	129
Şekil 3.8:	Soda-kireç-silika cam sofra gereci üretiminde enerji kullanımı	137
Şekil 3.9:	Kupol fırınında harman yükü ile geri dönüştürülen çimento briketlerinin yüzdesine bağlı olarak beklenen SO ₂ derişimi.....	145
Şekil 4.1:	Elektrostatik toz tutucu.....	191

Şekil 4.2:	ESP ve Ca(OH)_2 kullanılan kuru yıkama ile donatılmış petrol yakıtlı düz cam fırınından kaynaklanan toz emisyonlarının sonuçları (aylık spot ölçümler)	195
Şekil 4.3:	ErgitErgitme hızına bağlı olarak, yüzdürme cam fırınları için, filtre tozunun tümünden bertarafını içeren, kuru yıkama ve filtre kullanımıyla hava kirliliği kontrolünün ton erimiş cam başına özel maliyetleri	198
Şekil 4.4:	Torbalı (kumaş) filtre şeması.....	202
Şekil 4.5:	Cam ambalaj fırınları için torbalı filtrelerle birlikte kuru yıkayıcılar için tahmini maliyetler, filtre tozunun tümünden bertarafı ve %25 SO_x giderimi olduğu varsayılarak.....	208
Şekil 4.6:	FENIX sürecinden kaynaklanan NO_x emisyonları.....	225
Şekil 4.7:	Farklı cam üretim tesislerine (konteyner, şamandıra, kesintisiz cam elyafı ve sofa takımı) konvansiyonel fırınlardan oksijenle ateşlemeye geçişten sonra özgül ergitergitme maliyetlerinde gözlemlenen fark.....	237
Şekil 4.8:	SCR ile donatılmış bir yüzdürme cam fırını için zaman içinde NO_x derişiminin değişimi	248
Şekil 4.9:	Bir ÇYS modelinde sürekli iyileştirme	323
Şekil 6.1 :	Gelişmiş harman ve cam kırıntısı ön ısıtıcısının şematik diyagramı	394
Şekil 6.2 :	Daldırmalı yanmalı ergiticinin şematik diyagramı	397
Şekil 6.3 :	Sonik jet şarj cihazının şematik gösterimi.....	403
Şekil 6.4 :	Yüklü sis yıkayıcı sisteminin şematik diyagramı	404
Şekil 8. 1:	Tam filtre tozu geri dönüşümüne sahip bir yüzdürme cam fırını için kükürt dengesi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 8. 2:	Kısmi filtre tozu geri dönüşümlü bir cam ambalaj fırını için kükürt dengesi	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 8. 3:	Filtre tozu geri dönüşümlü bir oksi-yakıt cam yünü fırını için şematik kükürt dengesi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KAPSAM

Bu Cam Üretimi MET-Ref'i, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I kapsamında aşağıdaki faaliyetleri kapsar:

- 3.3: Günlük 20 ton üzeri ergitme kapasitesine sahip, cam elyafı da dâhil olmak üzere cam üretimi;
- 3.4: Günlük 20 ton üzeri ergitme kapasitesine sahip, mineral elyaf üretimi de dâhil olmak üzere mineral madde ergitme.

Bu belgenin kapsamında yer alan sektörle ilgili diğer referans belgeler şunlardır:

- Malzemelerin depolanması ve taşınmasına yönelik Depolama MET-Ref'inden (EFS) Emisyonlar;
- Genel enerji verimliliği hususları için Enerji Verimliliği MET-Ref (ENE);
- Ekonomik ve ortamlar arası etkiler için Ekonomik ve Ortamlar Arası Etkiler MET-Ref (ECM)
- Emisyonlar ve tüketim izleme için Genel İzleme Prensipleri MET-Ref (MON).

Aşağıdaki faaliyetler bu MET-Ref kapsamında değildir:

- Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar-Katılar ve Diğer Sanayi (LVIC-S) referans belgesi kapsamındaki su camı üretimi
- Çok kristalli yün üretimi
- Organik Solventler (STS) Kullanılarak Yapılan Yüzey İşlemleri referans belgesi kapsamındaki ayna üretimi

Bu MET-Ref'in kapsamı, Direktif'in kapsamında olmadıklarından dolayı, işyeri güvenliği veya ürünlerin güvenliğiyle sınırlı olan konuları **içermez**. Bunlar, yalnızca Direktif kapsamındaki konuları etkiledikleri ölçüde ele alınırlar.

1 GENEL BİLGİ

1.1 Endüstrinin yapısı

Bu kategorilerin kapsamında bulunan faaliyet türleri; ölçek, kullanılan teknikler ve ilgili çevresel hususlar açısından büyük farklılıklar gösterir. Bir tesisin Ek I'deki tanımları karşılayıp karşılamadığını belirlerken, tesisteki ergitme faaliyetinin toplam kapasitesi dikkate alınır. Bu belgenin amaçları doğrultusunda, üretilen eriyik kütlesi ile ilgili olarak günde 20 tonluk ergitme kapasitesi kriteri kullanılmalıdır. Bu yaklaşım, Direktifteki tanımın yorumlanmasına dair peşin hüküm vermeyi değil, sağlanan bilgilerin cam sanayiinde kullanılan standart terminoloji ile tutarlı olmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Bu belgenin amaçları doğrultusunda, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I'inin 3.3 ve 3.4 numaralı kısımlarındaki tanımları karşılayan endüstriyel faaliyetler, sekiz sektörden oluştuğu kabul edilen 'cam sanayii' olarak anılacaktır. Bu sektörler üretilen ürünler temelinde belirlenir, ancak aralarında bazı örtüşmelerin olması kaçınılmazdır. Bu sekiz sektör şunlardır:

1. Cam ambalaj
2. Düz cam
3. Kesintisiz cam elyaf
4. Cam ev eşyaları
5. Özel cam (su camı hariç)
6. Mineral Yün (cam yünü ve taş yünü olmak üzere iki alt bölümü ile.)
7. Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri (çok kristalli yün hariç)
8. Fritler.

Yüksek sıcaklık yalıtım yünü (HTIW) imalat sektörü, cam sanayiinin diğer sektörlerinden önemli ölçüde farklılık gösterir. Tesislerin üretimi tipik olarak 5 – 10 ton/gün aralığındadır, bu nedenle Direktif tarafından belirlenen 20 ton/gün tonaj gereksiniminin altındadır. Ancak sektör, MET-Ref'in hedeflerini tümüyle desteklemektedir ve bu nedenle GLS MET-Ref'e dâhil edilmiştir.

Sulu ip çekme çözeltilerinden sol-jel yöntemiyle elde edilen ve yüksek sıcaklıkta ergitme işleminden geçmeyen çok kristalli yün üretimi, ürünün kendine has özelliklerinden dolayı bu belgede yer almamaktadır.

Su camı üretimi Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar-Katılar ve Diğer Sanayi (LVIC-S) MET-Ref kapsamındadır. [\[138, AK 2007\]](#)

Bu belge, temel üretim faaliyetlerinin yanı sıra, emisyon ve kirlilik üzerinde doğrudan etkili olabilecek faaliyetleri de kapsamaktadır. Bu nedenle belge, hammaddelerin alınmasından, herhangi bir ara ürünün üretilmesine ve tamamlanan ürünlerin sevkiyatına kadar olan faaliyetleri içerir. Birincil faaliyetle doğrudan ilişkili kabul edilmemeleri sebebiyle belirli faaliyetlerden bahsedilmemiştir. Örneğin, düz camın diğer ürünlere (örneğin çift cam veya otomotiv ürünleri) dönüştürülmesi işlemi kapsama alınmamıştır. Tekrar belirtilmelidir ki, bu yaklaşım, Üye Devletlerin Direktifi yorumlanmasına dair peşin hüküm verme amacı taşımaz. Kapsanan faaliyetler şunlardır:

- hammaddelerin taşınması ve depolanması
- karıştırma ve aktarım
- ergitme ve rafinasyon
- şekillendirme (örn. yüzdürme banyosu, haddeleme, presleme, üfleme, elyaflaştırma, frit söndürme)
- şartlandırma (örneğin soğutma tüneli, tavlama, temperleme).
- bağlayıcı ve yağlayıcı uygulaması dâhil olmak üzere kaplama.
- yüzey işlemleri (örn. asitle parlatma).
- kütleme ve kurutma faaliyetleri.
- frezeleme
- işleme, kesme ve paketleme
- atık depolama, taşıma ve işleme.

1.2 Giriş

[19, CPIV 1998] [27, EURIMA 1998] [63, CPIV Yıllık rapor 2007] [65, GEPVP-GLS revizyonu için Öneriler 2007] [68, Cam ev eşyaları Veri güncellemesi 2007] [69, EURIMA veri derlemesi 2007]

Avrupa Birliği'nde (AB) cam sanayii, hem üretilen ürünler, hem de kullanılan imalat teknikleri açısından son derece çeşitlidir. Ürünler, el yapımı detaylı kristal cam kadehlerden, inşaat ve otomotiv sektörleri için üretilen düz camlara kadar çeşitlilik gösterir. Üretim teknikleri, yüksek sıcaklık yalıtım yünleri sektöründeki küçük, elektrikli fırınlardan, düz cam sektöründeki günde 1000 tona kadar üretim yapabilen yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlara kadar değişiklik gösterir. Daha geniş kapsamıyla cam sanayii, günlük 20 ton eşiğinin altında kalan birçok küçük tesisi de içerir. Bu bölümde verilen bazı istatistiksel verilerde, daha küçük ölçekli tesislerin sağladığı katkıyı ayırmak mümkün olmamıştır, ancak bunlar endüstrideki toplam çıktının %5'inden azını oluşturduklarından bu durumun göz ardı edilmesinde sakınca görülmemektedir.

Cam sanayii aslen bir ticari ürün endüstrisi olmakla beraber, rekabetçiliği sürdürmek için yüksek hacimli ürünlere değer katmanın birçok yolu geliştirilmiştir. Sektör üretiminin %80'inden fazlası diğer sektörlerle satılmaktadır. Bir bütün olarak bakıldığında cam sanayii, inşaat ve yeme içme sektörlerine büyük ölçüde bağımlıdır. Ancak, bu genel tablo sanayinin tüm bileşenleri için geçerli değildir, zira daha küçük hacimli sektörlerden bazıları yüksek değerli teknik veya tüketiciye yönelik ürünler üretmektedir.

1990'ların sonunda, cam endüstrisi bir yeniden yapılanma sürecine devam etti. Maliyetleri azaltmak, küresel pazarda daha etkili bir şekilde rekabet etmek ve ölçek ekonomilerinden yararlanmak amacıyla şirketler birleşti, buna karşılık bağımsız işletmelerin sayısı azaldı. Sektörde baskın olan gruplar faaliyetlerinde giderek küreselleştiler, kullanıcılar ise, ürünlerin hangi ülkede kullanıldığına bakılmaksızın aynı seviyede kaliteyi giderek daha fazla talep etmeye başladılar. AB'deki Cam Sanayii, teknolojik gelişmelerin ön saflarında yer almaktaydı ve bu nedenle, gelecek yıllarda endüstriyel performansının iyileşme göstermesi beklenmekteydi.

Önemli bir istisna olan Saint-Gobain haricinde, bu belgenin yazıldığı esnada, bir önceki bölümde belirtilen sekiz sektörün ikisinden fazlasında faaliyet gösteren birkaç büyük şirket mevcuttur. Örneğin, Owens Corning Corporation, cam elyaf teknolojisi, kesintisiz cam elyafı ve cam yünü konusunda uzmanlaşmıştır. PPG, büyük bir uluslararası düz cam ve kesintisiz cam elyaf üreticisidir, ancak artık Avrupa'da düz cam üretiminde aktif değildir ve yalnızca kesintisiz cam elyaf fabrikalarını işletmektedir. Pilkington Group esas olarak düz cam faaliyetlerinde uzmanlaşmıştır.

Cam sanayiinde başlıca çevresel zorluklar, hava emisyonları ve enerji tüketimidir.

Cam yapımı, yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen, enerji yoğunluklu bir faaliyettir; yanmadan ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonundan kaynaklanan ürünlerin emisyonuna neden olur. Fırın emisyonları ayrıca, esas olarak uçucu Harmandaki hammaddelerin buharlaşması ve ardından yoğunlaşmasından kaynaklanan tozu da içerir. Cam sanayiinden alınan verilere göre, 2005 yılındaki hava emisyonlarının 6500 ton toz; 105 000 ton NOX; 80 000 ton SO₂; ve 22 milyon ton CO₂'ten (doğrudan emisyonlar) meydana geldiği tahmin edilmektedir. Bunlar, AB'nin toplam emisyonlarının yaklaşık %0,8'ine karşılık gelmiştir. [158, AÇA – NEC raporu 2008]. Cam sanayiinin toplam enerji tüketimi yaklaşık 311 PJ'ye (86.5 milyon MWh) denk gelmiştir. Toplam enerjinin %15'i elektrik, %30'u fuel oil ve %55'i doğalgaz olarak tüketilmiştir. Üye Devletlerin farklı stratejileri ve enerji politikaları, üretim döngüsüyle ilişkili hava emisyonlarının (örneğin, fuel oil veya doğal gazdan kaynaklanan NOX, SOX emisyonları) miktarı ve kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olabilir.

Su ortamına emisyonlar nispeten düşüktür ve cam sanayiine özgü az sayıda önemli sorun vardır. Ancak, bazı sektörlerde su kirliliğine dair sorunlar mevcuttur ve bunlar bu belgenin belirli bölümlerinde ele alınmıştır. Katı atık seviyeleri de genellikle çok düşüktür ve atık oluşumunu azaltmak, şirket içi ve tüketici sonrası atıkları geri dönüştürmek amacıyla birçok girişim hayata geçirilmiştir.

Cam yapımında kullanılacak ham maddeler genel olarak kolaylıkla temin edilebilir, nispeten zararsız, doğal veya yapay maddelerdir. Hammaddelerin temini ile ilişkilendirilen önemli çevresel sorunlar bulunmamaktadır ve atık seviyeleri genellikle çok düşüktür.

Cam Sanayiindeki birçok sektör, kullanım ömürleri tipik olarak 10 – 12 yıl aralığında olmakla beraber 20 yıl veya daha fazlasına kadar çıkabilen, büyük sürekli fırınlar kullanmaktadır. Bu fırınlar, tesise ayrılan sermayenin büyüklüğünün göstergesidir; fırının sürekli çalışması ve düzenli olarak yenilenmesi de, süreçte doğal bir yatırım döngüsü sağlar. ErgitErgitme teknolojisindeki büyük değişikliklerin fırın yenileme zamanında uygulamaya geçirilmesi, ekonomik açıdan en uygun seçenektir. Bu durum, doğru şekilde boyutlandırılması ve gerekli gaz şartlandırmasının uygulanması gereken karmaşık ikincil önlemler tedbirleri için de geçerli olabilir. Bununla birlikte, ikincil tekniklerin kurulumu da dâhil olmak üzere fırının çalışmasına yönelik birçok iyileştirme, işletme sırasında da gerçekleştirilebilir. Daha sık yenileme ve daha düşük sermaye maliyetleri gerektiren daha küçük fırınlar için; çevresel iyileştirmeleri ve fırın yenilemelerini koordine etmenin avantajları daha az etkilidir, ancak çevresel iyileştirmelerin, diğer yatırımlarla koordinasyonunu sağlamak daha ekonomik olabilir.

1996'da AB-15 içindeki cam endüstrisinin toplam üretiminin 29 milyon ton olduğu tahmin edildi (HTIW ve fritler hariç). 2005 yılında, AB-25 içindeki toplam üretim, tüm sektörler dâhil olmak üzere yaklaşık 37,7 milyon tondur. Sektörlere göre gösterge niteliğinde bir dağılım aşağıdaki Tablo 1.1'de verilmiştir. 1997 – 2005 döneminde toplam üretim hacminde istikrarlı bir büyüme gözlemlendi. Ancak, büyüme ve/veya dalgalanma her sektörde farklılık göstermiştir, belgenin ilerleyen sayfalarında bu ele alınacaktır. Küresel durgunluk, 2008'den itibaren çoğu sektörde üretim seviyelerini önemli ölçüde azaltmıştır.

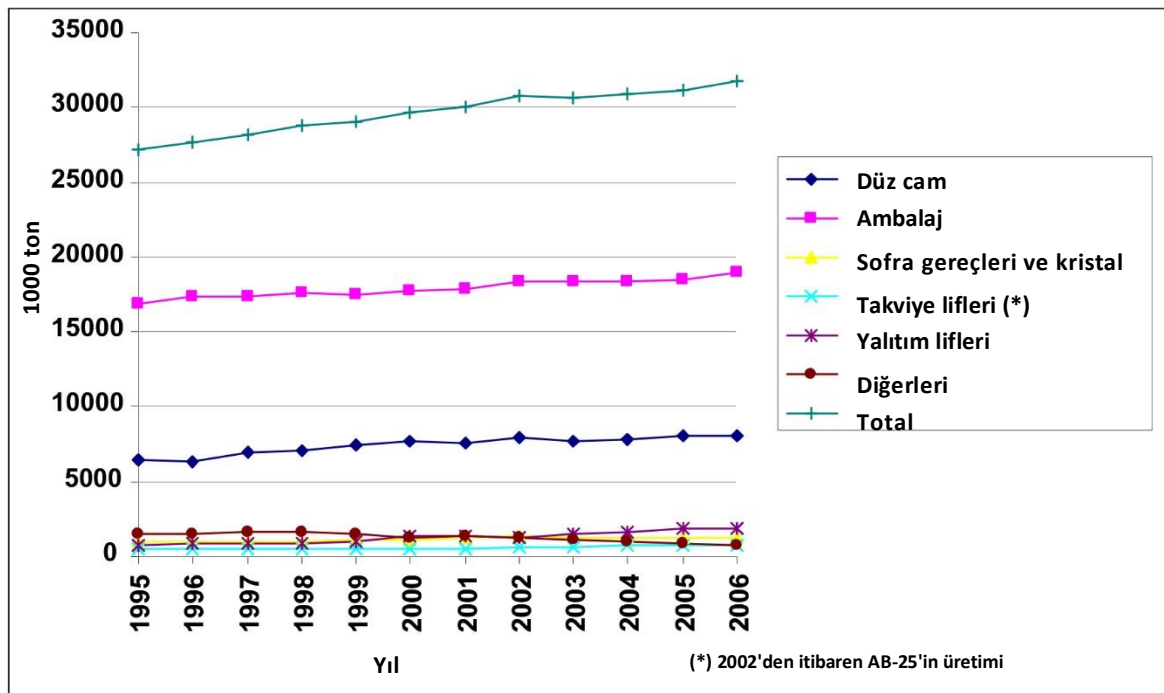
Tablo 1. 1: 1996 (AB-15) ve 2005 (AB-25) yıllarında cam sanayiinde üretimin sektör bazında yaklaşık dağılımı

Sektör	AB üretimi		
	% Toplam		Milyon ton
	1996 AB-15	2005 AB-25	2005
Cam ambalaj	60	53,0	20,00
Düz cam	22	24,8	9,37
Kesintisiz cam elyaf	1,8	2,47	0,93
Cam ev eşyaları	3,6	3,86	1,46
Özel cam (su camı hariç)	5,8	2,04	0,77
Mineral yün	6,8	9,54	3,60
Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri	-	0,11	0,04
Cam frit ve emaye frit	-	3,31	1,25
Diğer	-	0,85	0,32
TOPLAM			37,74

NA = mevcut değil.
Kaynak: [62, CPIV Cam MET-Ref 2007 Güncellemesi]

1995 ile 2006 yılları arasında AB'nin toplam cam üretimindeki ve en büyük beş sektörün üretimindeki büyüme Şekil 1.1'de özetlenmiştir. Şekilde, 1995'ten 2003'e kadar olan veriler AB-15'i, 2004'ten sonraki veriler ise AB-25'i göstermektedir. Yalnızca takviye elyafları özelinde, 2002 yılına ait üretim verileri AB-25'e atıfta bulunmaktadır.

Frit ve yüksek sıcaklık yalıtım yünlerinin üretimine ilişkin veriler Şekil 1.1'de yer almamaktadır.



Şekil 1. 1: Sektöre göre üretim gelişimine ilişkin grafik (2004'ten sonraki veriler AB-25'e atıfta bulunur)

1995'e kıyasla (endeks 100), EU-15'in üretim oranı 2006'da düz cam için 125,7, kap camı için 112,2, sofra takımı ve kristal için 124,3 ve takviye lifleri için 163,1 endekse ulaştı.

2002 yılında, AB-15'ten AB-25'e genişleme, toplam cam üretiminde %2,6'ya denk gelen sınırlı bir artışa neden oldu. 2004'e kıyasla (endeks 100), EU-25'in üretim oranı 2006'da düz cam için 105,1, kap camı için 105,7, sofrta takımı ve kristal için 92,4 ve takviye lifleri için 114,9 endekse ulaştı [63, CPIV Yıllık rapor 2007].

Farklı sektörlerden elde edilen çıktılar oldukça çeşitlidir ve sektörler arasındaki bağlantılar bazen çok muğlak olabilir. Bununla birlikte, bu belgede ele alınan tüm faaliyetlerin ortak yönü, inorganik malzemelerin, daha sonra ürün haline getirilmek üzere eriyik cam veya cam benzeri bir madde oluşturacak şekilde ergitilmesidir.

Cam sanayiinin kapsamındaki her bir sektör, kendi başına ayrı bir endüstri kabul edilebilir; bunların her biri farklı pazarlara yönelik son derece çeşitli ürünler üretir ve her birinin karşılaştıkları zorluklar farklılık gösterir. Bu bölümde bulunan 1.3 ila 1.10 arasındaki kısımlarda, her bir sektöre kısa bir genel bakış sunulmuş ve her birini etkileyen önemli faktörlerin bazıları ana hatlarıyla verilmiştir. Bilgiler, her sektör için mümkün olduğunca kıyaslanabilir bir şekilde sunulmuştur. Sektörlerin her birinin farklı yapıları, organizasyonları ve öncelikleri, bilginin bazen ayrıntı ve nitelik bakımından farklılık gösterebileceği anlamına gelir. Belirli parametrelerin önemi, sektörden sektöre farklılık göstereceğinden bu olağan bir durumdur.

1.2.1 Camın özellikleri

[22, Schott 1996]

Cam teriminin basit, pratik bir tanımı yoktur. En geniş anlamıyla cam, camsı bir halde bulunan, farklı bileşimlere sahip sınırsız sayıda malzeme için ortak olarak kullanılan bir terimdir. Daha spesifik olarak ise bu terim, katıya benzetilebilen, ancak çok yüksek viskoziteye sahip, ne kristal yapı ne de belirli bir erime noktası bulunan, yani aşırı soğutulmuş sıvı özelliklerine sahip olan bir inorganik madde durumu ile ilgili olarak kullanılır. Cam sanayiinde ise, cam terimi genellikle silikat camları belirtmek için kullanılır, bunlar yüksek oranda silika (SiO_2) içeren ve eriyik halden soğutulmaları esnasında normal koşullar altında doğal olarak cam oluşturan maddelerdir.

Camlar yapısal olarak sıvılara benzer özelliktedir, ancak ortam sıcaklıklarında kuvvet etkisine elastik deformasyonla tepki verdiklerinden, katı madde davranışı gösterdikleri dikkate alınmalıdır. Cam teriminin kullanımı genellikle inorganik maddelerle sınırlıdır ve şeffaf plastikler gibi organik malzemelerle bağlantılı olarak kullanılmaz.

Silikon, bor, germanyum, fosfor ve arsenik oksitleri gibi çeşitli kimyasal maddeler camsı bir yapı oluşturabilir. Eriyik halden hızla soğutulduklarında, cam oluşturmak üzere, kristalleşmeksizin katılaşırlar. Bu cam yapıcılar, belirli bileşim sınırları dahilinde diğer metalik bileşenlerle karıştırıldıklarında aynı davranışı sergilerler. En yaygınları ergitken madde olarak alkali oksitler (sodyum, potasyum, lityum vb.), alkali toprak metal oksitler (kalsiyum, magnezyum, baryum, stronsiyum, vb.), ve diğer metal cam değiştiriciler (yani alüminyum oksit) olan bu cam ağ bozucularının eklenmesi, bağlanma ilişkilerini ve yapısal gruplanmaları değiştirerek camın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde farklılıklara sebep olur. Camsı hal, oksitlerle sınırlı değildir ve bazı kükürt ve selenyum bileşikleri hızla soğutulduğunda da gözlemlenebilir. Cam, ekstrem koşullarda, bazı oksitsiz metal alaşımlarından da yapılabilir, diğer yandan birçok organik sıvı da düşük sıcaklıklarda camsı bir hal alır (örneğin - 90 °C'de gliserin).

Camlar, aynı kimyasal bileşime sahip bir kristale kıyasla enerjik olarak kararsızdır. Genel olarak, erimiş bir maddeyi soğuturken, sıcaklık erime noktasının altına düştüğünde kristalleşme başlar. Bu cam için geçerli değildir, çünkü moleküler yapı blokları (silikat camdaki SiO_4 tetrahedronlar) uzamsal olarak birbirine çapraz bağlıdır. Kristal oluşumunda, kristal çekirdeklerinin oluşabilmesi için öncelikle bu bağlantıların kırılması gerekir.

Bu, yalnızca daha düşük sıcaklıklarda meydana gelebilir, ancak bu sıcaklıklarda eriyiğin viskozitesi, moleküllerin yeniden yapılanmasını ve kristallerin büyümesini engeller. Kristalleşme (devitrifikasyon) eğilimi, genel olarak, artan soğutma hızı (erime noktasının altındaki kritik sıcaklık aralığı dahilinde) ve formülasyondaki farklı bileşenlerin sayısı ve türüne bağlı olarak azalır. Camın mekanik özellikleri nispeten kendine özgüdür. Camın gerçek kopma mukavemeti, kimyasal bağ enerjilerinden hesaplanan teorik değerden birkaç yüz kat daha düşüktür. Kopma mukavemeti, büyük ölçüde camın yüzey durumuna ve iç kusurların varlığına bağlıdır. Kaplama, ateşle parlatma ve ön germe gibi işlemler kopma mukavemetini büyük ölçüde artırabilir, ancak yine de teorik değerin çok altında kalır.

Birçok cam formülasyonu, hızlı sıcaklık değişimleri altında kırılmaya da yatkındır. Bu durumun başta zayıf ısı iletkenliği, alkali bakımından zengin camların nispeten yüksek termal genleşme katsayısı ve sınırlı kopma mukavemeti gibi bir dizi nedeni vardır. Camlar iki kategoriye ayrılır; termal genleşme katsayısı $6 \times 10^{-6}/K$ 'nin altında olan camlar sert cam, bu değerin üzerinde olanlar ise yumuşak cam olarak adlandırılır.

1.2.2 Cam türlerinin geniş sınıflandırması

[22, Schott 1996] [100, ICF MET-Ref revizyonu 2007]

Cam, bileşenleri farklılık gösterebilen bir maddedir. Kolaylık açısından, alışlagelen ifade şekli bünyesindeki elementlerin oksitlerinin göreceli oranlarıdır (SiO_2 , Na_2O , CaO , B_2O_3 , vb.), ancak bunlar camın içinde bu şekilleriyle bulunmazlar.

Cam türünün en yaygın olarak kullanılan sınıflandırması kimyasal bileşimi temel alır. Bu dört grup soda kireç camı, kurşunlu kristal ve kristal cam, borosilikat cam ve özel camlardır. Bu kategorilerin ilk üçü üretilen tüm camların %95'inden fazlasını sağlamaktadır. Geri kalan %5 ise, genellikle küçük miktarlarda üretilen binlerce özel cam formülasyonundan meydana gelmektedir. Birkaç istisna dışında, çoğu cam ana bileşeni silisyum dioksit (SiO_2) olan silikat bazlıdır.

Taş yünü, tipik kimyasal bileşiminin bu kategorilerin hiçbirine uymaması nedeniyle bu cam türleri sınıflandırmasına bir istisnadır. Tipik bir taş yünü bileşimi Tablo 2.9'de sunulmaktadır.

Soda-kireç camları

Endüstriyel olarak üretilen camların büyük çoğunluğu, çok benzer bileşimlere sahiptir ve toplu olarak soda-kireç camları olarak adlandırılırlar. Tipik bir soda-kireç camı bileşimi % 71-75 oranında silisyum dioksit (temel olarak kumdan elde edilen SiO_2), % 12-16 oranında sodyum oksit (Na_2CO_3 soda külünden elde edilen Na_2O , 'soda'), %10-15 oranında kalsiyum oksit ($CaCO_3$ kireçtaşından elde edilen CaO , kireç) ve cama belirli özellikler kazandırmak için eklenen düşük orandaki diğer bileşenler olarak ifade edilebilir. Bazı bileşimlerde, kalsiyum oksit ya da sodyum oksitin bir kısmı yerine sırasıyla magnezyum oksit (MgO) ve potasyum oksit (K_2O) kullanılır. Daha detaylı cam bileşimleri 2. Bölümün ilgili kısımlarında verilmiştir.

Soda-kireç camı şişeler, kavanozlar, flakonlar (parfümeri ve kozmetik), gündelik sofrta takımları ve pencere camları için kullanılır. Soda-kireç camı, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerin en önemlileri arasında mükemmel ışık geçirgenliği yer alır, dolayısıyla düz cam ve şeffaf gereçlerde tercih edilir. Aynı zamanda, büyük ölçüde kimyasal açıdan atıl olan pürüzsüz, gözeneksiz bir yüzeye sahiptir, bu nedenle temizliği kolaydır ve içindekilerin tadını etkilemez. Camın çekme ve termal performansları bu uygulamalar için yeterlidir ve hammaddeler nispeten ucuz ve ergitilmesi ekonomiktir. Camın alkali içeriği ne kadar yüksekse termal genleşme katsayısı o kadar yüksek, termal şok ve kimyasal saldırıya karşı direnci o kadar düşük olur. Soda-kireç camları, genellikle uç sıcaklıkların veya hızlı sıcaklık değişimlerinin söz konusu olduğu uygulamalar için uygun değildir.

Kurşunlu kristal ve kristal cam

Yaygın olarak kurşunlu kristal olarak bilinen bir cam üretmek için, harmandaki kalsiyum oksidin büyük bölümü kurşun oksit ile değiştirilebilir. Tipik bir bileşim, % 54 - 65 oranında SiO_2 , % 25-30 oranında PbO (kurşun oksit), % 13-15 Na_2O veya K_2O ile az miktarlarda çeşitli diğer bileşenlerden oluşur. Kurşun oksit içeriği %24'ün üzerinde olan bu tip formülasyon, cama yüksek yoğunluk ve kırılma endeksi sağlayarak, mükemmel parlaklık ve ses vermenin yanı sıra çok çeşitli şekil ve dekorasyonlara olanak tanıyan mükemmel bir işlenebilirlik özelliği de verir. Tipik ürünler yüksek kaliteli bardaklar, sürahiler, kaseler ve dekoratif eşyalardır. Kurşun oksit, kristal cam olarak bilinen ve kurşunlu kristalden daha düşük parlaklığa ve yoğunluğa sahip camlarda kısmen veya tamamen baryum, çinko veya potasyum oksitlerle ikame edilebilir. Kimyasal ve fiziksel özelliklerle ilgili kesin tanımlar, kristal camla ilgili üye Devletlerin yasalarının uyumuna ilişkin 69/493/AET sayılı Konsey Direktifinde belirtilmiştir.

Borosilikat camlar

Borosilikat camların bor ve silisyum oksitleri içerdiği düşünülebilir. Tipik bir bileşim, %70-80 SiO_2 % 7-15% B_2O_3 , % 4-8 Na_2O veya K_2O ve % 2-7 Al_2O_3 (alüminyum oksit) içerir. Bu bileşime sahip camlar, kimyasal korozyona ve sıcaklık değişimine (düşük termal genişleme katsayısı) karşı yüksek direnç gösterir. Uygulamaları arasında kimyasal proses bileşenleri, laboratuvar ekipmanı, farmasötik kaplar, aydınlatma, pişirme gereçleri ve fırın kapıları ve ocaklar yer alır. Borosilikat formülasyonlarının çoğu düşük hacimli teknik uygulamalar içindir ve özel cam kategorisi altında değerlendirilir.

Borosilikat camın diğer bir uygulaması, hem kesintisiz lifler hem de cam yünü yalıtımı için cam elyaf üretimidir. Kimyasal direnç ve düşük ısı genleşme katsayısına ek olarak, bor trioksit, cam eriyiğinin elyaflaştırılmasında da önemlidir. Cam elyaf için tipik bileşimler, yukarıda verilenlerden farklıdır. Örneğin, E-camın bileşimi, SiO_2 : 52 – 56 %, toprak alkali oksitler: % 16 – 25, B_2O_3 : %5 – 10, Al_2O_3 : %12 – 16 artı diğer küçük bileşenlerdir. Kesintisiz cam elyafı için yeni düşük borlu veya borsuz formülasyonların giderek daha önemli hale geldiği de göz önünde bulundurulmalıdır.

Özel camlar

Özel camlar, bileşimleri ürünlerin gerektirdiği özelliklere bağlı olarak çok büyük ölçüde değişen, özel, düşük hacimli ve yüksek değerli ürünleri kapsayan, son derece çeşitli bir gruptur. Uygulamaları arasında özel borosilikat ürünler, optik cam, elektroteknoloji ve elektronik camları, katot ışın tüpleri; kaynaşmış silika nesneler, cam fitili, X ışını tüpleri, cam lehimler, sinterlenmiş cam, LCD paneller, elektrotlar ve cam seramikler yer almaktadır. İkinci Bölümde, teknik cam formülasyonlarına ilişkin daha detaylı bilgiler verilmektedir.

1.2.3 Tarihi kökeni

[19, CPIV 1998][22, Schott 1996]

Camsı malzemeler doğal olarak da meydana gelir, örneğin obsidiyen genellikle volkanik bölgelerde bulunur ve insan yapımı camla kıyaslanabilir bir bileşime sahiptir. Esas olarak silisyum dioksit ile sodyum ve kalsiyum bileşiklerinden oluşan bu malzeme, ilk insanlar tarafından ok uçları, mızrak uçları ve bıçaklar yapmak için kullanılmıştır. Diğer doğal cam formları, göktaşlarının yeryüzüne çarpması üzerine atmosfere püskürtülen erimiş kayanın katılaşmasıyla oluşan tektitler ve kuma yıldırım çarpmasıyla oluşan fulguritlerdir.

Camın ilk kez ne zaman yapay olarak üretildiği bilinmemekle birlikte, en eski bulgular MÖ 3500 yıllarına kadar uzanmaktadır. Cam yapımının Mısır ve Mezopotamya'da ortaya çıktığı, ancak daha sonra ve bağımsız olarak Çin, Yunanistan ve Kuzey Tirol'de geliştirildiği tahmin edilmektedir. Tarih öncesi cam üretiminin, seramik veya bronz üretimi ile bağlantılı olduğu ve bunların bir yan ürünü olarak ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir. İlk olarak takı olarak ve küçük kaplar için kullanılmıştır.

Üretim, M.Ö.1500 yıllarından itibaren camın bir kum veya kil kütlesinin etrafına kalıplanarak daha büyük ve daha kullanışlı eşyalar (kaseler, kaplar ve bardaklar) yapılmaya başlamasıyla önemli ölçüde artmıştır. MS 1. yüzyılda Filistin'de veya Suriye'de cam üfleme borusunun keşfedilmesiyle cam üretiminde ilk büyük teknik devrim yaşanmıştır. Bu teknikte erimiş cam, içi boş bir gövde oluşturmak amacıyla zanaatkarın içine üflediği üfleme borusunun ucuna alınıyordu. Bu teknik, çok çeşitli şekillerin üretilmesini sağladı ve İtalya ve Fransa başta olmak üzere tüm batıya yayıldı.

Avrupa'da cam üretimi Orta Çağ'da daha da gelişti ve Venedik, Avrupa'nın cam sanatı merkezi haline geldi. 14. yüzyılda kıtanın her yerinde cam atölyeleri kurulmuş, aynı zamanda Fransa'da pencereler için düz cam üretimi geliştirilmiştir. Pencere camı, yüzyıllar boyunca cam üfleme borusuyla büyük silindirik gövdelere üflenmiş, kesilmiş ve hala sıcakken düz olarak ütülenmiştir. Sadece sınırlı miktarda cam işlenebilmekteydi ve pencere camları çok küçük boyutluydu. Ardından gelen teknik, boru ile bir cam küre üflemeden ibaretti; bu küre, camın boruya tutunduğu yerin karşısındaki ucunda açılıyor ve düzleniyordu. XIV. Louis döneminde 1688 yılında plak dökme işleminin keşfinden sonra, geniş yüzeyli aynalar üretilmeye başlanmıştır. Aynı dönemde, İngiliz cam üreticileri de yüksek parlaklık ve saf bir sese sahip olan kurşunlu kristali geliştirmişlerdir.

On sekizinci yüzyılda, bazı fabrikalar ağızdan üfleme teknikleriyle yılda 1 milyondan fazla (yaklaşık 3 ton/gün) şişe üretebilmekteydi. Teknik ilerleme, 19. yüzyılda sanayi devrimi ile hızlanmış; fırınlar odun yerine kömürle ısıtılmaya, ilk otomatik makineler kullanılmaya, metal kalıplarda basınçlı hava kullanılarak üfleme yapılmaya başlanmıştır. On dokuzuncu yüzyılın sonunda, Friedrich Siemens tarafından sürekli fırın icat edilmiş ve büyük ölçekli sürekli üretim ve makine kullanımı imkanı sağlamıştır.

20. yüzyılda iki önemli adım atıldı: Bunların ilki, 1920'lerde ilk otomatik IS makinesinin piyasaya sürülmesiyle şişe üretiminin tamamen mekanizasyonu, ikincisi ise 1962'de düz cam için yüzdürme işleminin icadıdır. Günümüzde bir IS makinesinin üretimi dakikada 500 şişeden fazladır ve düz camın üretimi günde 1 000 tona kadar çıkabilmektedir.

1.3 Cam ambalaj

1.3.1 Sektöre genel bakış

[19, CPIV 1998] [62, CPIV Cam MET-Ref 2007 Güncellemesi] [64, FEVE 2007] [125, FEVE 2009]

Cam ambalaj üretimi, referans alınan yıla bağlı olarak toplam cam üretiminin yaklaşık %50 ila 60'ını temsil eden, AB'nin cam endüstrisinin en büyük sektörüdür. Sektör cam ambalaj, yani gıda, içecek, kozmetik ve parfüm, ilaç ve teknik ürünlerin ambalajlanmasında kullanılan şişe ve kavanozların üretimini kapsamaktadır. 2005 yılında sektör, AB-25'te faaliyet gösteren fırınlardan 20 milyon, AB-27'de ise toplam 21 milyon ton cam ambalaj üretti. 2006'da gözlemlenen artışı 2007'de AB-27'deki 22 milyon tonluk üretim takip etti.

Ortalama olarak, AB-15'te üretim yıllık %0,9 arttı. 2007 yılı üretim rakamları, cam sanayiinin büyümesinde o yıl %4'e varan artışla sonuçlanan bir yükselme eğiliminin olduğunu doğrulamaktadır. Ancak, mali kriz ve bunun sonucunda tüketici talebinin daralması, 2008 ve 2009 yıllarında fırınların ve/veya üretim hatlarının geçici veya kalıcı olarak kapatılmasıyla üretim kapasitesinde düşüslere yol açmıştır. Daha da ciddi bir sonucu, endüstrinin sermayeye ve yatırıma erişim kabiliyetinin önemli düzeyde azalması olmuştur.

Belgenin yazıldığı esnada (2010) 170 tesisi olan yaklaşık 70 firma mevcuttur ve sektör yaklaşık olarak 40 000 kişiyi doğrudan istihdam etmektedir. Cam ambalaj 27 Üye Devletin 19'unda üretilmektedir (bkz. Tablo 1.2). Şu anda AB-27'nin çıktısı büyük grupların (Ardagh Glass, BA Vidro, O-I Europe, Saint-Gobain, Vetropack ve Vidrala) yanı sıra, bölgesel ve niş pazarlar sayesinde etkin şekilde rekabet etmeye devam eden pek çok daha küçük grup ve şirket tarafından temsil edilmektedir. En büyük cam ambalajı üreticisi olan Avrupa'yı ABD ve Japonya izlemektedir. Ana Üye Devletler için üretim payının bir göstergesi ile sektörün coğrafi dağılımı Tablo 1.2'de gösterilmektedir.

Tablo 1. 2: Üye Devletlerdeki cam ambalaj tesislerinin dağılımı ve üretim

Üye Devlet	Tesis sayısı	AB üretiminin ton cinsinden dağılımı x 10 ³ ⁽¹⁾			AB üretiminin yüzdelik dağılımı ⁽¹⁾		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Almanya	39	3895	3886	4080	19	19	19
Fransa	24	3784	3828	3722	18	18	17
İtalya	32	3543	3549	3621	17	17	17
İspanya	20	2144	2148	2222	10	10	10
Birleşik Krallık	13	2081	2160	2244	10	10	10
Polonya	17	1088	1120	1230	5	5	6
Portekiz	6	1024	1096	1231	5	5	6
Hollanda	5						
Avusturya	3						
Çek Cumhuriyeti	5						
Belçika	2						
Yunanistan	2						
Danimarka	1						
İsveç	1						
Estonya	1						
Finlandiya ⁽²⁾	1						
Macaristan	1						
Slovakya	1						
Romanya	1						
Letonya	0						
Litvanya	0						
Kıbrıs	0						
Bulgaristan	0						
İrlanda	0						
Slovenya	0						
Malta	0						
Lüksemburg	0						
Ara Toplam 'Diğerleri' ⁽³⁾		3164	3085	3239	15	15	15
Total	175	20723	20872	21589			

⁽¹⁾ FEVE'den elde edilen veriler.
⁽²⁾ Tesis 2009 yılında kapatıldı.
⁽³⁾ Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Finlandiya, Yunanistan, Macaristan, Hollanda, Romanya, Slovakya ve İsveç için mevcut veriler, gizlilik nedeniyle 'Diğerleri' altında konsolide edilmektedir.
Kaynak: [85, İspanyol MET Cam Rehberi 2007] [125, FEVE 2009]

Cam üretim tesisleri için en yaygın üretim seviyesi günde 300 ila 600 ton arasındadır. FEVE tarafından gerçekleştirilen bir anketin kapsamındaki tesislerle sınırlı olmak üzere (AB-27'deki toplam 175 tesisten 134'ü), farklı büyüklük aralıklarındaki tesislerin tipik dağılımı Tablo 1.3'te sunulmaktadır.

Tablo 1. 3: Belirtilen üretim aralıklarındaki cam ambalaj tesislerinin sayısı

Üretim aralığı (ton/gün)	<150	150 ila 300	300 ila 600	600 ila 1000	>1000
Her bir aralıktaki tesis sayısı	15	38	56	23	2
Her bir aralıktaki tesislerin oranı (%)	11,2	28,4	41,8	17,2	1,5

Kaynak: [126, FEVE 2009]

1.3.2 Ürünler ve pazarlar

[19, CPIV 1998]

Cam ambalaj, temel soda kireç formülasyonu kullanılarak yapılır ve fosil yakıtla ateşlenen fırında, veya istisnai durumlarda, elektrikle ısıtılan bir fırında ergitilir. Eriyik cam genellikle otomatikleştirilmiş IS makineleri ile ürüne dönüştürülür. Uygun olduğu durumlarda cama renklendirici maddeler eklenir ve bitmiş ürünlere yüzey kaplamaları uygulanır.

Cam ambalaj sektörünün hacmen en önemli ürünleri şarap, bira, diğer alkollü içkiler, meşrubat vb. şişeleri ile gıda endüstrisi için geniş ağızlı kavanozlardır. Bu ürünler genellikle ticari ürün kalemleri olarak kabul edilir, ancak sektörün bir diğer önemli kısmını ilaç ve parfüm/kozmetik endüstrilerinde kullanılmak üzere daha yüksek değerli kapların üretimi oluşturur. Üretimin çoğunluğu, AB içerisindeki müşteri endüstrilerine satılmakta, bunlar ise daha sonra ambalajlı ürünlerini AB ve dış pazarlara satmaktadır. Müşteri endüstrilerinin taşıdıkları göreceli önem, Üye Devletler arasında büyük ölçüde farklılık göstermektedir. Bu, ulusal cam ambalaj piyasalarının geniş çeşitliliğinde ve özellikle renk, şekil, boyut ve tasarım bakımından ihtiyaç duydukları ürünlerin çeşitliliğinde gözlenebilir.

Üç genel müşteri endüstrisi sektörü mevcuttur. Cam ambalaj kaplarının toplam tonajının yaklaşık %75'ini içecek sektörü oluşturmaktadır. Buna gazsız ve köpüklü şaraplar, güçlendirilmiş şaraplar, bira, elma şarabı, aromalı alkollü meşrubatlar, alkolsüz içecekler, meyve suları ve maden suları dahildir. Gıda sektörü ise tonajın yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (çoğunlukla kavanozlar). Bu, ıslak ve kuru konserveler, süt ve süt ürünleri, reçel ve sürülebilir ürünler, soslar, yağ, sirke vb. gibi oldukça çeşitli ürünleri kapsar. Genellikle küçük şişelerden oluşan parfümeri/kozmetik, farmasötik, ve teknik ürünlere yönelik kaplar, cam ambalaj tonajının kalan % 5'ini oluşturur.

Sektörün önemli bir özelliği, meşrubat şişeleri ve kavanozlar için teslimat mesafelerinin genellikle birkaç yüz kilometre ile sınırlı olmasıdır; zira boş cam ambalajlar için nakliye maliyeti, satış fiyatına göre nispeten yüksektir. Ayrıca, özellikle alkollü içeceklerde (farklı şarap bölgeleri, viski, konyak, şampanya ve bira) özel cam ambalajlara sahip belirli yerel veya bölgesel pazarlar mevcuttur ve bu durum, pazar yoğunlaşmasının aleyhine işleyen bir faktör olmuştur. Özellikle yüksek değerli parfüm ve kozmetik ürünlere yönelik flakonlar, uluslararası rekabete daha fazla maruz kalmaktadır.

Diğer yandan, küresel yiyecek ve içecek, farmasötik ve kozmetik gruplarının artan büyümesi ve etkisine simetrik olarak, 1997 ile 2005 arasındaki yıllarda cam sanayii giderek küreselleşmiş ve yoğunlaşmıştır. Buna, tedarik edilen cam ürünlerinde artan uzmanlaşma eşlik etmiştir (bir şirketin birden fazla cam sektöründe faaliyet göstermesi giderek daha az görülen bir olgu haline gelmektedir).

1.3.3 Ticari ve finansal hususlar

[19, CPIV 1998] [63, CPIV Yıllık rapor 2007]

Cam ambalaj, 1997 ile 2006 yılları arasında genel olarak yavaş bir büyümenin yaşandığı ve son derece dinamik pazarlara hizmet veren, nispeten olgun bir endüstridir. Yerel veya geçici değişiklikler kaçınılmaz olarak meydana gelmekle beraber, genel trendin orta vadede devam etmesi beklenmektedir. Ancak alternatif ambalaj malzemelerinden kaynaklanan rekabetin sektörü sınamaya devam etmesi beklenmektedir.

Fırınlara çalışma ömürleri uzundur, buna rağmen kullandığı fırın sayısının çokluğu, her yıl kapasitenin önemli bir kısmının yenileme tarihinin yaklaştığı anlamına gelir. Cam ambalaj sektöründe kapasite fazlası yerel ve kısa vadeli olma eğilimindedir. Alternatif malzemelerin getirdiği rekabet, fiyatlar konusunda önemli bir faktördür.

Nakliye maliyetleri nedeniyle çoğu ürünün satışı, üretim alanına 500 km mesafe dahilinde gerçekleşir, bu nedenle genellikle ithalat ve ihracat oldukça sınırlıdır. Bu, ihracatın üretimin %40'ından fazlasına karşılık gelebildiği parfüm/kozmetik endüstrisi için geçerli değildir. 2005 yılı boyunca AB'nin ihracatı, ithalatını yaklaşık %70 oranında aşmıştır; ithalat 262 192 ton, ithalat ise 931 784 ton olarak gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, 2006 yılında ihracatın yalnızca %0,5 büyümesine karşılık olarak ithalat %11,7 büyümüştür. Toplam AB dışı ticaret, 20 milyon tonluk sektör üretiminin yalnızca % 4.6'ini temsil etmektedir. Bununla birlikte, AB'nin sınır bölgelerindeki alanlar, AB üyesi olmayan diğer ülkelerin önemli ölçüde daha düşük fiyatlara ve kabul edilebilir kaliteye sahip ürünlerinden kaynaklanan ciddi bir rekabet ile karşı karşıyadır. Bu durum özellikle daha düşük değerli ürünler için geçerlidir. Bununla birlikte, ambalajların satışının yerel olmasıyla birlikte, önemli miktarda camla ambalajlanan malın AB dışına ihraç edildiğini akıldan tutmak gerekir (örneğin şaraplar, alkollü içkiler, buralar, parfümler, yağ).

Cam ambalaj pazarını etkileyebilecek çok çeşitli faktörler mevcuttur. En büyük tehdit, özellikle plastikler (başta PET-polietilen tereftalat olmak üzere), metaller (çelik ve alüminyum) ve lamine kartonlar olmak üzere alternatif ambalaj malzemelerinden kaynaklanmaktadır.

Cam ambalajın başlıca avantajları, yüksek kimyasal direnci ve bariyer özellikleri (içeriğin kalitesinin korunması ve muhafaza edilmesi bakımından), estetik çekicilik (malların sunumu ve markaların tanınması için şeffaflık, renk, tasarım vb.), yeni şişelere geri dönüştürülebilirlik, yeniden mühürlenebilirlik, temizleme kolaylığı ve yeniden kullanılabilirliktir. Ayrıca cam yapımında kullanılan doğal hammaddeler de doğada bol miktarda bulunmaktadır. Rakiplerine göre camın konumu, piyasanın tercihlerine, maliyetlere ve ambalajlama alanındaki gelişmelere bağlı olarak bölgeler ve ürünler arasında değişiklik göstermektedir. Camın başlıca dezavantajları, ağırlığı ve kırılma riskidir.

Diğer önemli faktörler ise paketlenmiş ürünlere olan talepteki dalgalanmalarla ilişkilidir. Buna örnek olarak daha düşük hacimli ancak daha kaliteli şarapların tüketilmesi eğilimi gibi alışkanlıklardaki değişiklikler verilebilir. Şarap hasadının boyutunu etkileyen iklimsel faktörler ve sıcak yaz aylarında bira ve meşrubat tüketiminin artması da önemli olabilir. Döviz kurlarındaki dalgalanmalar ve yerel ekonominin mevcut iklimi, parfüm ve alkol gibi yüksek değerli ürünlere olan talebi etkileyecektir.

Cam yapımının sermaye yoğunluklu bir endüstri olması nedeniyle, yalnızca geniş finansal kaynaklara sahip, büyük denilebilecek işletmeler pazara giriş yapma imkanına sahiptir. Uzun vadeli yavaş büyüme, yeni fırınların inşa ediliyor olmasına rağmen, bunların söz konusu bölgede halihazırda faaliyet gösteren veya bölgeye giren diğer mevcut şirketler tarafından inşa edildikleri anlamına gelir. Satışlardaki artışın büyük bir bölümü, planlanan yenileme çalışmalarında mevcut tesislerin modernizasyonu ile sağlanacaktır. Genel olarak, küçük şirketlerin mülkiyetinin büyük şirketlere devredilmesi eğilimi gözlenmektedir.

Yatırım döngüsü uzundur. Genel olarak, cam ambalaj fırınları 20 yıldan uzun süreye kadar sürekli olarak veya bir ya da iki küçük onarımla çalışır ve bu sürenin sonunda durumlarına bağlı olarak kısmen veya tamamen değiştirilme yoluyla yenilenirler. Orta büyüklükteki bir fırının (günde yaklaşık 250 ton) tamamen yenilenmesinin maliyeti, 3 ila 5 milyon Avro civarında veya daha fazla olacaktır. Fiili harcama önemli ölçüde daha yüksek olabilir, çünkü yenileme esnasında sürece herhangi bir modernizasyonun uygulanması da gerekebilir. Bir yeşil alan yatırımı sahasında benzer büyüklükteki yeni bir tesisin inşaatı, altyapı ve hizmetler dâhil olmak üzere 40 ila 50 milyon Avro'ya mal olacaktır.

1.3.4 Başlıca çevresel sorunlar

Cam ambalaj üretimi ile ilişkili en büyük çevresel sorun, yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreç olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonu ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonu ile sonuçlanır. Fırın emisyonları ayrıca toz (uçucu Harmandaki hammaddelerin buharlaşması ve ardından yoğunlaşmasından kaynaklanan) ve hammaddelerde safsızlık olarak bulunan eser miktarda klorür, florür ve metali de içerir. Tüm bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak her tekniğin getirdiği finansal ve çevresel etkiler söz konusudur.

Sektörde, fırın emisyonları ve enerji kullanımının büyük ölçüde azaltılmasına zemin hazırlayan, önemli çevresel iyileştirmeler yapılmıştır. Özellikle, nitrojen ve kükürt dioksit oksitleri için birincil emisyon azaltma teknikleri ile ilerlemeler kaydedilmiştir.

Sektördeki atık seviyeleri oldukça düşüktür. Nitekim, geri dönüştürülmüş cam (kırık) kullanımının artması sektördeki süregelen gelişmelerdendir. 2008'de AB içerisindeki cam ambalaj sektöründe tüketici sonrası cam kırıklarının ortalama kullanım oranı, toplam hammadde girdisinin yaklaşık %50'sini oluşturur; bazı tesislerde %80 veya daha fazla oranda geri dönüştürülmüş cam kullanılmaktadır. Yüksek derecede renksizliğin gerekli olduğu bazı ürün türleri, örn. belirli parfüm veya lüks kozmetik ürünlerinde ve aynı zamanda alkollü içki pazarlarında, renkli cam safsızlıkları nedeniyle tüketici sonrası geri dönüştürülmüş cam önemli ölçüde kullanılmayabilir.

Camın alternatif ambalaj malzemelerine kıyasla belirgin avantajlarından biri, yeniden kullanım ve geri dönüşümünün kolaylığıdır. Genel olarak, cam ambalaj üretimi önemli su kirliliği sorunları yaratmamalıdır. Su, esas olarak temizlik ve soğutma için kullanılır; kolayca arıtılabilir veya yeniden kullanılabilir.

1.4 Düz cam

1.4.1 Sektöre genel bakış

[19, CPIV 1998] [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007] [127, Glass for Europe 2008]

AB-27'deki Cam Sanayiinin ikinci en büyük sektörü olan düz cam; 2005, 2006 ve 2007 yıllarında toplam cam üretiminin sırasıyla %26, %28 ve %29'una karşılık gelmiştir. Sektör, düz cam ve haddelenmiş cam üretimini kapsamaktadır. Yüzdürme cam ana üründür; haddelenmiş cam toplamın yalnızca %3,5'una karşılık gelmekte ve gerilemekteyken, yüzdürme camın üretimi senelerdir artış göstermektedir.

2007 yılında, AB-27'de faaliyet gösteren 58 yüzdürme tankı ile yaklaşık 9,5 milyon ton cam üretilmiştir. AB-27'de faaliyet gösteren dokuz düz cam üreticisi ve dört haddelenmiş cam üretim tesisi bulunmaktadır. Düz cam 16 Üye Devlette üretilmektedir.

2007 yılında sektör düz cam imalatında yaklaşık 17 000 kişiyi doğrudan istihdam etmiştir. Ortalama olarak, düz cam üretimindeki yıllık büyüme %2 – 3 mertebesinde.

Küresel çapta bir iş olan düz cam üretiminde yer alan dört büyük grup, kapasiteleri itibariyle şöyle sıralanabilir: Asahi Glass (AGC Flat Glass Europe), NSG (Pilkington, İngiltere), Saint-Gobain (Fransa) ve Guardian Industries (ABD).

Yüzdürme tanklarının mülkiyeti ile ilgili bilgiler aşağıda Tablo 1.4 ve Tablo 1.5'te verilmektedir (EU-27, 2007).

Tablo 1. 4: 2007'de AB-27'deki yüzdürme tanklarının sahipleri ve konumları

Şirket	Tank sayısı	Konumlar
Saint-Gobain	16	Almanya (4), Fransa (3), Belçika (2), İspanya (2), İtalya (1), Portekiz (1), Birleşik Krallık (1), Polonya (1), Romanya (1)
AGC Flat Glass Europe	13	Belçika (4), Fransa (2), İtalya (2), Hollanda (1), Çek Cumhuriyeti (3), İspanya (1)
Pilkington	12	Almanya (4), Birleşik Krallık (3), İtalya (2), Finlandiya (1), İsveç (1), Polonya (1)
Guardian	8	Lüksemburg (2), İspanya (2), Almanya (1), Birleşik Krallık (1), Macaristan (1), Polonya (1)
Euroglas	3	Fransa (1), Almanya (2)
Manfredonia Vetro/Sangalli	1	İtalya (1)
Sisecam	1	Bulgaristan (1)
Interpane	1	Fransa(1)
Ges Scaieni	1	Romanya (1)
Total	56	

Tablo 1. 5: 2007'de AB-27'deki ortak girişim yüzdürme tankları

Şirket	Tank sayısı	Konumlar
AGC Flat Glass Europe/Scheuten	1	Belçika
Saint-Gobain/Pilkington	1	İtalya

Sektörün coğrafi dağılımı ve tesis boyutları aralıkları Tablo 1.6 ve Tablo 1.7'de gösterilmektedir.

Tablo 1. 6: AB-27'de 2007'de Üye Devletlerdeki yüzdürme tanklarının sayısı

Üye Devlet	Yüzdürme tankı sayısı	AB üretiminin yüzdelik dağılımı
Almanya	11	19,0
Fransa	7	12,1
İtalya	7	12,1
Belçika	7	12,1
Birleşik Krallık	5	8,6
İspanya	5	8,6
Polonya	3	5,2
Çek Cumhuriyeti	3	5,2
Lüksemburg	2	3,45
Romanya	2	3,45
Finlandiya	1	1,7
Hollanda	1	1,7
Portekiz	1	1,7
İsveç	1	1,7
Macaristan	1	1,7
Bulgaristan	1	1,7
Total	58	100

Kaynak: [127, Glass for Europe 2008]

Tablo 1. 7: Belirtilen aralıklardaki yüzdürme kapasitesi yüzdesi

Kapasite aralığı (ton/gün)	AB+27'deki her bir aralıktaki Yüzde Kapasite
<400	1
400 ila 550	37
550 ila 700	48
>700	14

1.4.2 Ürünler ve pazarlar

[19, CPIV 1998] [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]

AB'de üretilen iki tür düz cam, haddelenmiş cam ve düz camdır. Diğer düz cam türleri de mevcut olmakla birlikte, Özel Cam Sektörünün kapsamına girdiklerinden veya 2008/1/AK sayılı Direktifte belirtilen günlük 20 ton üretim kriterini karşılamadıklarından, bu sektör kapsamında değerlendirilmemektedirler. Haddelenmiş cam, çoğunluğu desenli veya telli cam olmak üzere toplam sektör çıktısının yaklaşık %3.5'ini oluşturur. Desenli cam, bahçivanlık alanında seralarda dekoratif amaçlı olarak ve örneğin cam bölmeler, banyo pencereleri ve ısıl gerilim panelleri gibi ışığın geçirildiği uygulamalarda kullanılır. Yüzdürme cam, üretimin geriye kalan % 95'ini oluşturur ve esas olarak inşaat ve otomotiv sanayiinde kullanılır.

1962'de Pilkington tarafından yüzdürme cam işleminin icat edilmesinden önce, tabaka cam ve dökme cam olmak üzere iki temel desensiz cam türü mevcuttu. Tabaka camı üretiminde en yaygın kullanılan yöntem, camın tanktan dikey olarak çekilmesini içeren Pittsburgh işlemiydi. Bu işlemde çekilecek konumunda bulunan camın içerisine refrakter bir rehber cihaz yerleştirilir ve soğutulmuş tutucular camı alır. Cam, yaklaşık 12 metre uzunluğundaki bir tavlama şaftından geçer ve şekillendirilmek üzere kesilir. Yüzdürme düz camdan önce, dökme cam mevcut en yüksek kaliteli camdı. Dökme cam, haddelenmiş cam veya kalın tabaka camın büyük tablalar veya konveyörler üzerinde bulunan döner diskler kullanılarak zımparalanması ve parlatılmasıyla üretilir. Bu ikili işlemde, camın her iki tarafı aynı anda parlatılır. Zımparalama ve parlatma işlemi, yüksek miktarlarda bertaraf edilmesi gereken katı atık üretir.

Yüzdürme işleminin avantajları (ekonomi, ürün yelpazesi, düşük atık, kalite), 1962'de piyasaya sürülmesinden bu yana kademeli olarak tabaka ve dökme camın yerine geçmesini ve artık bunların AB içinde üretilmemesini beraberinde getirmiştir. Bazı haddelenmiş cam ürünleri, uzmanlık gerektiren uygulamalar için hala parlatılmaktadır; dünyanın bazı bölgelerinde ise hala azalan miktarlarda tabaka ve dökme cam üretilmektedir. Bu belgenin amaçları doğrultusunda, tabaka ve dökme cam imalatı artık kullanılmayan teknikler olarak kabul edilebilir.

Düz cam için en önemli pazarlar inşaat ve otomotiv endüstrileridir. Bu pazarların en büyüğü, üretimin %75 ila %85'ini karşılayan inşaat endüstrisidir, kalan %15 ila %25'in büyük bölümü ise, otomotiv endüstrisinde kullanılmak üzere işlenir. Bazı camlar yalnızca istenen boyuta göre kesilir ve doğrudan kullanılır, ancak üretilen düz camların çoğu işlenerek başka ürünler haline getirilir. Otomotiv endüstrisi için bunlar lamine ön camlar, yan ve arka camlar ve açılır tavanlardır. İnşaat endüstrisi için ana işlenmiş ürün, genellikle bir kat kaplamalı cam içeren, çift veya üçlü camlı üniteler şeklindeki yalıtımlı camlardır. Bu camlı üniteler, inşaat pazarının %40'ı ila %50'sini oluşturmaktadır; geri kalanı ise, her biri %10 ila %15'i oluşturan gümüşlenmiş, kaplanmış, sertleştirilmiş ve lamine ürünleri kapsar.

1.4.3 Ticari ve finansal hususlar

[19, CPIV 1998] [63, CPIV Yıllık rapor 2007] [127, Glass for Europe 2008]

Ortalama olarak, toplam AB dışı ticaret, az miktardaki ticaret fazlası ile, AB üretiminin yaklaşık % 15'sini temsil etmektedir. Üretimin yaklaşık %10'u AB dışı ülkelere ithal edilirken, buna yakın ancak genellikle daha düşük bir rakam (işlenmemiş cam için 2006'da %6,3) AB pazarına ağırlıklı olarak Uzakdoğu Asya'dan ithal edilmektedir. Bu özet, hem işlenmemiş hem de işlenmiş cam için geçerlidir. Düz camın taşınması pahalıdır, istenen durum mümkün olduğunca üretim sahasına yakın müşterilere tedariktir. Bununla birlikte, 2007'de yalnızca 58 düz cam hattının işletimde olduğu, şirketler arasında yoğun rekabetin yaşandığı AB'de camın sevk edildiği mesafeler oldukça uzun olabilir, ancak bu nihayetinde maliyetle sınırlıdır. AB'de üretilen ve işlenen camın büyük çoğunluğu Batı Avrupa'da satılmaktadır.

Nispeten düşük ve azalan ithalat seviyesiyle geçen birkaç yıldan sonra, 2005'ten bu yana AB-27 dışından ithal edilen düz cam miktarı, 2005 öncesinin iki katına varmak üzere keskin bir artış gösterdi. 2007 yılında, ağırlıklı olarak Çin'den olmak üzere toplam AB üretiminin yaklaşık %11'ini temsil eden toplam AB dışından ithalat ile ithalatı tarihi bir zirve gözlemlendi. Aynı yıl için, AB dışına ihracat, toplam AB üretiminin %10,5'ini temsil ediyordu. Çin'deki büyük kapasite fazlası nedeniyle, bu ithalatın yakın gelecekte artmaya devam etmesi bekleniyor. Avrupa'nın diğer büyük ithalatçıları Türkiye, ABD, Endonezya, İsrail ve Rusya'dır.

Ham düz cam üretimi, olgun, döngüsel ve esasen bir ticari ürün işidir. 1986 ve 2000 yılları arasında sektör %2 ile %3 aralığında gözle görülebilir bir yıllık büyüme sergilemiştir. Büyüme eğilimi, hem AB-15 hem de AB-27 için 2000 - 2006 arası dönemde doğrulanmıştır. Ancak sektördeki kapasite fazlası, cam fiyatlarının reel anlamda düşmesi ile ciddi fiyat baskısına yol açmıştır. Fiyatlar piyasalar arasında değişkenlik gösterebilir, ancak en büyük üretici olan Almanya'da özellikle düşük olmuştur. Düz cama olan talep, büyük ölçüde inşaat ve otomotiv endüstrilerine bağlı olduğu için ekonomik döngülere özellikle duyarlıdır. Ekonomik büyüme ve yüksek talep dönemlerinde düz cam oldukça karlı bir iş olabilmekle birlikte, ekonomik gerileme veya durgunluk dönemlerinde tam tersi geçerli olabilir.

2000 - 2007 arası dönemde kapasite kullanımı % 90 civarında gerçekleşmiştir. Sektördeki genel görüş, uzun vadeli karlılık için %90'ın üzerinde kapasite kullanımının gerekli olduğu yönündedir. AB-27'deki mevcut yüzdürme tanklarının kapasite kullanımının ve üretim fazlasının tahmini gelişimi Tablo 1.8'de sunulmaktadır.

Tablo 1. 8: AB-27 dahilinde kapasite kullanımının ve fazla düz cam üretiminin tahmini gelişimi

Yıl sonu	Satılabilir kapasite	AB-27 üreticilerinin küresel satışları	AB-27 üreticilerinin küresel satışlarında kapasite kullanımı	
			Fazlalık	Kullanım
	bin ton	bin ton	bin ton	%
2007	9576	8921	655	93,16
2008 ⁽¹⁾	9709	9141	568	94,15
2009 ⁽¹⁾	10319	9516	803	92,22
2010 ⁽¹⁾	10808	9938	870	92,00

⁽¹⁾ Tahmini veriler
Kaynak: [127, Glass for Europe 2008]

Düz cam üretimi ve özellikle yüzdürme cam, ciddi finansal kaynaklar, uzun vadeli yatırım ve yüksek teknik beceri gerektiren, son derece sermaye yoğun bir faaliyettir. Bu nedenle sınırlı sayıda büyük ölçekli uluslararası üretici vardır. Yaygın olmamakla birlikte daha küçük üreticiler de mevcuttur.

Düz cam fırınları 12 ila 15 yıl (bazı durumlarda daha uzun süre) kesintisiz olarak çalışır, bu sürenin sonunda ise duruma bağlı olarak kısmen veya tamamen değiştirilme yoluyla yenilenirler. Büyük çaplı bir yeniden inşa 30 – 50 milyon Avro'ya, yeni bir yüzdürme hattı (tipik olarak günlük 500 ton) ise yaklaşık 100 – 150 milyon Avro'ya mal olacaktır.

1.4.4 Başlıca çevresel sorunlar

[65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]

Düz cam üretimi ile ilişkili en büyük çevresel sorun, yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreç olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonları ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonu ile sonuçlanır. Fırın emisyonları ayrıca toz (uçucu Harmandaki hammaddelerin buharlaşması ve ardından yoğunlaşmasından kaynaklanan) ve hammaddelerde safsızlık olarak bulunan eser miktarda klorür, florür ve metali de içerir. Tüm bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak her teknolojinin getirdiği finansal ve çevresel etkiler söz konusudur.

Tesiste oluşan atık cam fırına geri dönüştürülmektedir ve sektörde, işlenen ve tüketici sonrası atıkların geri dönüşümü konusunda önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Düz cam kırığı, başta cam ambalaj ve yalıtım yünü sektörleri olmak üzere cam sanayiinin diğer kısımları için kullanışlı bir hammaddedir ve işlemeden kaynaklanan atık camın %95'e varan oranlarda, bir şekilde geri dönüştürüldüğü tahmin edilmektedir. Genel olarak, düz cam üretiminin önemli su kirliliği sorunları yaratması beklenmemektedir. Su, esas olarak temizlik ve soğutma için kullanılır; kolayca arıtılabilir veya yeniden kullanılabilir.

Düz cam üretiminde önemli çevresel iyileştirmeler yapılmıştır; emisyonlar birincil ve ikincil tedbirler yoluyla önemli ölçüde azaltılmış ve özgül enerji tüketiminde azaltımlar gerçekleştirilmiştir. 1960'dan 1995'e kadar enerji tüketimi %60 oranında azaltılırken, 1996 – 2006 arası dönemde yaklaşık %20 oranında daha azalma sağlanmıştır. Cam ergitme için teorik minimum tüketim 0,76 MWh/ton'dur (2,74 GJ/ton'a eşdeğerdir), daha fazla iyileştirme için teknolojiye önemli gelişmeler gerekli olacaktır [128, ECORYS 2008]. Özgül enerji tüketimi için gözlemlenen minimum değerler, bir fırının çalıştırılmasının başlangıcında yaklaşık 5 GJ/ton'dur (bkz. 3.4.5 kısmı).

Düz cam sektörünün genel çevresel etkisini değerlendirirken, ürünlerle ilişkili bazı çevresel faydaların da göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır. Örneğin, camlama ile ilişkilendirilen toplam enerji denge bilançosu, hem imalatı sırasında tüketilen enerjiyi hem de kurulu kaldığı süre boyunca (örneğin 30 yıl) camlamanın kullanıldığı bina tarafından tüketilen enerji üzerindeki etkisini içerir.

İnşaat sektörü, AB'nin enerji tüketiminin en az %40'ını oluşturmakta, bunun yarısı ise evlerin ısıtılması için kullanılmaktadır. Avrupa'daki mevcut ve yeni binalarda, sıradan veya çift camın düşük emisyonlu çift camla değiştirilmesiyle iyileştirilme yapılması, ısı yalıtımını önemli ölçüde artırmaktadır. Isı kayıpları, tek camla kıyaslandığında %20'nin altına, normal çift camla kıyaslandığında ise %40'ın altına düşmektedir. Bu, binalarda enerji kullanımı üzerinde önemli bir etki yaratabilir.

Otomotiv pazarına yönelik gelişmiş ürünler, ağırlıktan tasarruf sağlayarak yakıt tüketiminin azaltılmasına ve güneş kontrollü camların kullanılmasıyla klima yükünün azaltılmasına yardımcı olur.

AB-27'deki tüm yeni ve mevcut binalarda yüksek performanslı, düşük enerjili veya üçlü cam kullanımının teşvik edilmesiyle elde edilebilecek ısıtma için enerji tüketimindeki tahmini azalma, yılda 975 000 TJ enerjiye eşdeğerdir, bu da yılda 97 milyon ton CO₂ emisyonuna karşılık gelir. [\[159, Glass for Europe 2009\]](#)

İklimlendirme ile donatılmış binalarda güneş kontrol camının uygulanmasının olası sonucu olarak, yılda 15 ila 80 milyon ton arasında CO₂ emisyonlarında ek bir azalma olduğu tahmin edilmektedir. [\[160, Glass for Europe 2008\]](#)

Kullanım ömürleri boyunca, enerji verimli cam ürünlerinin kullanımından kaynaklanan CO₂ emisyon azalmaları, üretimlerinden kaynaklanan emisyonları büyük ölçüde aşacaktır.

Referanslar

[GEPVP: 'LOW-E GLASS IN BUILDINGS - Impact On The Environment & On Energy Savings - Contribution of the flat glass industry towards reducing greenhouse gas emissions & energy consumption in the EU-15' (2000)]

[GEPVP: 'ENERGY & ENVIRONMENTAL BENEFITS from Advanced Double Glazing in EU Buildings' (March 2005)]

[ECOFYS: 'Impact of the improvement of thermal insulation (CTE2) on the CTE' (July 2004)] [TNO Report: 'Impact of Solar Control Glazing on energy and CO₂ savings in Europe' (July 2007)]

1,5 Kesintisiz cam elyaf

[\[66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007\]](#) [\[67, APFE Fabrika araştırması 2007\]](#)

1.5.1 Sektöre Genel Bakış

[\[19, CPIV 1998\]](#)

Kesintisiz cam elyaf üretimi, cam sanayiinin tonaj olarak en küçük sektörlerinden biri olsa da, ürünlerin değer/kütle oranı nispeten yüksektir. Bu sektör, diğer ürünlere dönüştürülen kesintisiz cam elyafların imalatını kapsamaktadır. Farklı bir işlemle yapılan ve genel olarak cam yünü olarak adlandırılan cam elyafı yalıtım materyalinin imalatından farklıdır. 2005 yılında sektör, esas olarak E-cam ve az miktarda C ve AR cam elyafı yapmak üzere AB-25'teki 17 tesiste faaliyet gösteren 34 fırından 933400 ton elyaf üretti. 2005 yılında sektör doğrudan 6500 kişiye istihdam sağlamıştır.

Letonya, Çek Cumhuriyeti ve Slovakya'daki dört yeni üretim tesisindeki artış dikkate alındığında sektör 1997'den 2007'ye iyi bir büyüme göstermiştir. AB'de yedi üretici mevcuttu: Ahlstrom, Johns Manville, Lanxess, P-D Oschatz, Owens Corning, PPG ve Saint-Gobain Vetrotex. 2007 yılında, Owens Corning, OCV Reinforcements'ı kurmak üzere Saint-Gobain'in Takviyeler ve Kompozitler bölümünü satın aldı. Satın almanın bir koşulu olarak, yeni kurulan OCV Company'den iki sitenin, 3B-Fibreglass olarak bilinen, yeni kurulan bir şirkete devredilmesi gerekmektedir. Saint-Gobain, Tekstil Çözümleri işini ayrı bir organizasyon olarak sürdürdü. Fransa, Almanya, İtalya, Belçika ve İspanya'daki fabrikaları olan OCV Reinforcements şu anda bunların arasında en büyük üreticidir. AB-25 genelinde fabrikaları olan PPG, 3B ve Johns Manville, AB'de OCV Reinforcements'ı takip eden büyük üreticilerdir.

2005 yılında küresel bazda, ABD lider üretici olarak dünya üretiminin %40'ından fazlasını sağlarken, Avrupa ve Asya %20 ila %25'lerini oluşturuyordu. En büyük küresel üretici olan Owens Corning'i Vetrotex ve PPG takip etmektedir. Tablo 1.9 ve Tablo 1.10'da sektörün coğrafi dağılımı ve fırın boyutlarının aralıkları gösterilmektedir.

Tablo 1. 9: Üye Devletlerdeki kesintisiz cam elyaf tesislerinin ve fırınlarının sayısı

Üye Devlet	Tesis sayısı	Fırın Sayısı (2005'te faaliyette olan)	AB-25 üretimi
Almanya	3	5	
Belçika	2	5	
Çek Cumhuriyeti	2	4	
Fransa	2	4	
İtalya	2	3	
Finlandiya	1	3	
Slovakya	1	3	
Hollanda	1	2	
Birleşik Krallık	1	2	
İspanya	1	2	
Letonya	1	1	
Total	17	34	2005'te 933 400 ton

Tablo 1. 10: Belirtilen üretim aralıklarında kesintisiz cam elyaf fırınlarının sayısı

Üretim aralığı (ton/gün)	<50	50 - 100	>100
Her aralıktaki fırın sayısı (2005)	11	11	12

1.5.2 Ürünler ve pazarlar

[19, CPIV 1998] [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]

Kesintisiz cam elyaf çeşitli biçimlerde üretilir ve tedarik edilir. Bunlar fitil, keçe, kırpık elyaf, tekstil (iplik), cam tülü ve öğütülmüş elyafıdır. Son kullanımını büyük oranda (yaklaşık %90) ısıl sertleşim ve termoplastik reçinelerin takviyeleri yoluyla kompozit materyal üretimi (cam takviyeli plastik, GRP) oluşturmaktadır. Kompozitler, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, hafifliği ve korozyona dayanıklı özelliklerinden dolayı AB içinde çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Yeni uygulamalar geliştirilmeye devam etmektedir.

Kompozit malzemeleri için başlıca pazarlar, inşaat endüstrisi, otomotiv ve ulaştırma sektörleri ve elektrik ve elektronik endüstrisidir. Bunun yanı sıra borular ve tanklar, tarım ekipmanları, endüstriyel makineler ve spor, eğlence ve denizcilik sektörlerinde kullanılırlar.

Cam elyaf kompozitler için, özellikle yenilenebilir enerji ve rüzgar enerjisi hızla büyüyen pazarlar olarak öne çıkmaktadır. En önemli ikinci son kullanımı ise, kompozitlere benzer pazarlarda, ancak doğal olarak farklı uygulamalar için kullanılan tekstilin üretimidir. Cam tekstilinde başlıca pazar elektronik endüstrisidir, baskı devre kartlarının üretiminde kullanılırlar. Bu tekstil üretimi, rekabet gücü nedeniyle hızla Asya'ya kaymaktadır.

Bu sektör, kayda değer düzeyde uluslararası ticarete, geniş ve giderek çeşitlenen bir müşteri tabanına sahiptir. Bu küresel ticaret, belirli pazarlar veya coğrafi bölgeler arasında ekonomik performansın gösterdiği dalgalanmaların etkisini azaltır. Bununla birlikte, düşük maliyetli bölgelerden gelen rekabete karşı hassasiyeti artırır.

1.5.3 Ticari ve finansal hususlar

[19, CPIV 1998] [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]

Kesintisiz Cam Elyaf Sektörü, uzun vadede sağlıklı büyüme göstermektedir. Ürünleri nispeten yüksek değere sahip olup sevkiyatları kolaydır, ve uluslararası ticareti önemli boyutlardadır. Ürünlere olan artan talebe karşılık, fiyatlar üzerinde baskı oluşturan ve karlılığı sınırlayan çok güçlü bir rekabet vardır. 2005 yılında ortalama kapasite kullanımı %95 civarındaydı.

2005 yılında, ihracat AB üretiminin %27'si iken, ithalat için bu rakam %44'ün üzerindeydi. Bu durum, bir ticaret açığı ve başta Asya'dan olmak üzere artan bir ithalat girişi teşkil ediyordu.

Kesintisiz cam elyaf üretimi, ciddi finansal kaynaklar, uzun vadeli yatırım ve yüksek teknik beceriye sahip personel gerektiren, son derece sermaye yoğun bir faaliyettir. Bu nedenle sınırlı sayıda büyük ölçekli uluslararası üretici ve az sayıda daha küçük üretici vardır.

Bu sektördeki fırınlar 8 ila 12 yıl kesintisiz olarak çalışır, bu sürenin sonunda ise duruma bağlı olarak kısmen veya tamamen değiştirilme yoluyla yenilenirler. Orta büyüklükteki bir fırının yenilenmesi (günlük yaklaşık 75 ton) yaklaşık 8 milyon Avro'ya mal olacaktır. Bir yeşil alan yatırımı sahasında benzer büyüklükteki yeni bir tesisin inşaatı, altyapı ve hizmetler dâhil olmak üzere 75 ila 90 milyon Avro'ya mal olacaktır.

1.5.4 Başlıca çevresel sorunlar

[66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]

Kesintisiz cam elyaf üretimi, birçok endüstriyel faaliyete kıyasla nispeten düşük atıklı bir faaliyettir. Bununla birlikte, ince elyaf üretiminde kırılmalar meydana gelebilir ve bu durum, ton ürün başına cam sanayii ortalamasının üzerinde bir atık seviyesine yol açar. 2005'te, çöp sahasına giden erimiş cam miktarında, bir kısmı dönüştürme verimliliği iyileştirmelerinden ve bir kısmı da işleme geri dönüşümden kaynaklanan bir azalma olduğu yönünde veriler mevcuttu. Fiberglas fırınlarına geri dönüşüm hala büyük zorluk teşkil etmektedir, ancak bu zorlukların üstesinden gelmek için daha çok çaba gösterildiği gözlenmektedir.

Genel olarak, cam elyaf üretimi önemli su kirliliği sorunları yaratmaz. Su, esas olarak temizlik ve soğutma için kullanılır, ancak kaplama malzemelerinin kullanımıyla ilişkili emisyonlar ortaya çıkabilir. Emisyonlar kaplamanın hazırlanması ve taşınmasından, sarma işleminden ve ikincil işlemeden kaynaklanabilir. Emisyonlar uygun taşıma ve döküntü önleme tekniklerinin kullanılmasıyla en aza indirilebilir, kalıntı düzeyindeki kirlilik standart tekniklerle giderilebilir.

Kesintisiz cam elyaf üretimi ile ilişkili en büyük çevresel sorun, yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreç olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonları ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin oksidasyonu ile sonuçlanır. Fırın emisyonları ayrıca toz (uçucu Harmandaki hammaddelerin buharlaşması ve ardından yoğunlaşmasından kaynaklanan) ve hammaddelerde safsızlık olarak bulunan eser miktarda klorür ve metalleri de içerir. Ortaya çıkan toz, filtrasyonla baca gazından ayrıldıktan sonra, taşınma etkileri ve sodyum klorür (NaCl) gibi agresif/aşındırıcı bileşenlerin varlığı nedeniyle çoğu zaman fırına geri dönüştürülmez.

Elyaflaştırma (fiberizasyon) işleminin doğası gereği, harmanda değişen seviyelerde florürler kullanılabilir ve bu durum hidrojen florür emisyonlarına neden olabilir. Bu karmaşık konu 4. Bölümde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Tüm bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak her tekniğin getirdiği finansal ve çevresel etkiler söz konusudur. Cam elyaf üretiminde önemli çevresel iyileştirmeler yapılmış, emisyonlar önemli ölçüde azaltılmış ve enerji tüketiminde azaltımlar gerçekleştirilmiştir.

Sektörün genel çevresel etkisini değerlendirirken, cam elyafların en önemli son kullanımı olan kompozit malzemelerle ilişkili bazı çevresel faydaların da göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır. Sahip oldukları sayısız teknik avantajların yanında, kompozit malzemeler genellikle, başta çelik ve alüminyum olmak üzere, yerini aldıkları malzemelerden çok daha az enerji tüketir. Ulaştırma sektöründeki uygulamalarında ağırlığın azaltılmasını sağlarlar (yakıt tasarrufuna katkıda bulunurlar) ve korozyona karşı yüksek dirençleri sayesinde kullanım ömürleri daha uzundur.

Son zamanlarda, ticari olarak uygun büyük rüzgar çiftliği yapılarının başarılı bir şekilde geliştirilmesine, özellikle kanatlar açısından katkıda bulunarak, yenilenebilir enerji endüstrisi ve küresel CO₂ azaltma çabaları için önemli ve değerli olduklarını gösterdiler.

1.6 Cam ev eşyaları

1.6.1 Sektöre genel bakış

[28, Evsel 1998] [68, Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 2007]

Cam Ev Eşyaları Sektörü, toplam üretimin yaklaşık %4'ü ile, cam sanayiinin daha küçük ölçekli sektörlerinden biridir. Bu sektör, bardak, kupa, kase, tabak, pişirme gereçleri, vazo ve süs eşyası dâhil olmak üzere cam sofrası, pişirme ve süs eşyalarının üretimini kapsamaktadır. Cam ev eşyası üretimi, 120'den fazlası İtalya'da ve yaklaşık 70'i Polonya'da olmak üzere 300'den fazla tesisle AB genelinde çok geniş bir alana yayılmıştır.

Yaklaşık 60 tesis, 2008/1/AK sayılı Direktifte belirtildiği gibi bir veya daha fazla fırından oluşan tesis için toplam ergitme kapasitesi olarak günde 20 tonluk üretim kriterini karşılamaktadır ve bunlar AB üretiminin çoğunluğunu oluşturmaktadır. 2006 yılında, AB-27 için toplam üretim yaklaşık 1,46 milyon tondur.

Avrupa'nın en büyük yerli cam üreticileri Arc International (Fransa), Bormioli Rocco e Figlio, Bormioli Luigi ve RCR Cristalleria Italiana (İtalya), Durobor (Belçika), Duralex (Fransa), Paşabahçe (Bulgaristan), Riedel Nachtmann (Almanya), Waterford Crystal (İrlanda), Zwiesel (Almanya) ve Libbey'dir (Portekiz). Yukarıda da belirtildiği gibi, genellikle daha yüksek katma değerli ürünlerde (kurşun kristal, vb.) uzmanlaşmış birçok küçük şirket mevcuttur.

Sektörün coğrafi dağılımı ve tesis boyutları aralıkları, üretimdeki tahmin edilen paylarıyla beraber Tablo 1.11 ve Tablo 1.12'de gösterilmektedir.

Tablo 1. 11: 2006 yılında Üye Devletlerdeki IPPC cam ev eşyası tesislerinin sayısı ve dağılımı

Üye Devlet	Eşiği geçen kurum sayısı (20 t/d)	AB üretiminin yaklaşık yüzdesi
Fransa	7	26,9
Almanya	8	22,2
İtalya	7	11,7
İspanya	5	10,1
Polonya	4	5,5
Çek Cumhuriyeti	8	5,2
Hollanda	1	4,8
Slovakya	3	3,0
Belçika	1	1,7
Portekiz	1	1,6
Yunanistan	2	1,6
Bulgaristan	1	1,3
Macaristan	2	1,2
İrlanda	1	1,1
Avusturya	4	0,6
İsveç	1	0,5
Finlandiya	1	0,5
Slovenya	2	0,2
Birleşik Krallık	1	0,2
Total	60	2006 yılında 1463000 ton
<i>Kaynak: [68, Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 2007]</i>		

Tablo 1. 12: 2006 yılında belirtilen üretim aralıklarındaki cam ev eşyası tesislerinin sayısı (tahminler)

Üretim aralığı (ton/gün)	<20	20 ila 100	>100
Her bir aralıktaki tesis sayısı	>240	41	19
<i>Kaynak: [68, Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 2007]</i>			

1.6.2 Ürünler ve pazarlar

[28, Evsel 1998]

Cam Ev Eşyaları Sektörü, ürünleri ve kullanılan prosesler bakımından oldukça çeşitlidir. Ürünler toplu tüketim mallarından yüksek değerli kurşun kristal sürahilere ve kadehlere varan çeşitlilik göstermektedir. Ürün şekillendirme yöntemleri arasında manuel yöntemler (üfleme boruları ve kesme) ve tamamen otomatik makineler bulunur. Çıktının % 50'sinden fazlasını oluşturan bardaklarla beraber temel ürünler, 1.6.1 kısmında ana hatlarıyla verilmiştir.

Ürünlerin çoğu, şeffaf veya renkli olabilen soda-kireç camından yapılır. Kurşunlu kristal ve kristal cam formülasyonları, yüksek parlaklık ve yoğunluğa sahip camlar, sürahiler ve dekoratif ürünler üretmek için kullanılır. Opal cam, bardak, tabak, servis tabağı ve fırın kapları üretiminde kullanılır. Borosilikat cam ev eşyaları, çoğunlukla Duran (Schott) ve Pyrex (Arc International) gibi bazı yaygın ticari markaların adıyla anılmaktadır ve ana ürünleri tencere ve ısıya dayanıklı sofr gereçleridir. Bazı durumlarda, bu farklı cam formülasyonlarından yapılan ürünler, mekanik ve termal şoklara karşı dirençlerini arttırmak için temperlenir. Cam seramik ürünler, başta pişirme gereçleri olmak üzere yüksek sıcaklık uygulamaları için kullanılır ve yüksek düzeyde termal şoka dayanıklıdır. Son kullanıcı müşteri tabanının oldukça geniş olduğu ortadadır; anında satışlar genellikle büyük perakendecilere ve toptancılara yapılır, ancak bazı üreticiler doğrudan müşterilere de satış yapar.

Pazarın farklı bölümlerini etkileyen çok çeşitli faktörler mevcuttur. Müşteri zevkleri ve sosyal trendler çok önemlidir. Örneğin, özellikle Avrupa'da daha rahat olan yemek alışkanlığı, daha ucuz orta kaliteli ürünlere olan talebin artmasıyla sonuçlanmıştır, renkli cama olan talep ise zamana ve bölgeye göre değişiklik göstermektedir. Üreticinin bu değişiklikleri takip etmesi ve uygun yanıt vermesi önemlidir; bu nedenle esneklik, üretim sürecinin önemli bir parçasıdır.

Dolayısıyla, cam ev eşyalarının formülasyonları belirli ürün ve işleme gereksinimlerine göre uyarlanmalıdır. Bazı soda-kireç formülasyonları bile, ambalaj veya düz cam gibi diğer soda-kireç formülasyonlarından önemli farklılıklar gösterebilir.

Kurşunlu kristal üretiminde artan mekanizasyon, el yapımına yakın kalitede, daha ucuz ürünlerin üretilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, bu tür yüksek değerli ürünlerde müşteri algısı hala önemlidir ve değerli “el yapımı” etiketinin talep ettiği fiyat hala daha yüksektir. Bu, el yapımı ürünlerin ayrı olarak sipariş edilen ürünlerle sınırlandırılmasının (en azından orta vadede) olası olmadığı anlamına gelir.

1.6.3 Ticari ve finansal hususlar

[28, Evsel 1998]

Cam sanayiinin çoğu sektöründe olduğu gibi, cam ev eşyaları sektörü de talep bakımından mütevazı uzun vadeli büyüme gösteren, köklü ve olgun bir faaliyetlerdir. Cam ev eşyaları kolaylıkla taşınabilmektedir ve hem Üye Devletler arasında hem de AB dışına önemli düzeyde uluslararası ticaret yapılmaktadır. Bu sektöre yönelik en büyük tehdit, yerel pazarlarda artan ithalattan kaynaklanan rekabet ve önemli ihracat pazarlarında rekabetin daha büyük bir boyut kazanmış olmasıdır. Bu artan rekabet, fiyatlar üzerinde ciddi bir baskıya ve dolayısıyla kârlılığın kısıtlanmasına neden olmuştur. 2005'te ihracat ve ithalat, değer olarak AB üretiminin sırasıyla %26 ve %28.5'sini temsil etmiştir. Bu genel olarak iyi bir ticaret dengesi teşkil etse de, ithalatın büyük çoğunluğunun yapıldığı Uzakdoğu Asya ve Türkiye'ye yapılan ihracat, bu bölgelerden yapılan ithalatın büyük ölçüde gerisinde kalmıştır.

Söz konusu sanayiinin diğer sektörlerinde de olduğu gibi, büyük ölçekli cam üretimi, önemli ölçüde uzun vadeli yatırım ve büyük sermaye gerektiren bir iştir. Günde 20 tondan fazla üretim yapan cam ev eşyaları üreticilerinin oluşturduğu küçük kısım bunu kanıtlar niteliktedir. Bu birkaç şirketin AB'deki üretimin büyük bölümünü gerçekleştiriyor olmasına rağmen, yüksek değerli el yapımı ürünler veya niş pazarlarda uzmanlaşmış çok sayıda daha küçük ve daha az sermayeli tesisin varlığı sektörün sıradışı bir özelliğidir. Bu tür az miktarlardaki camlar, kurulumu ve işletimi nispeten ucuz olan, ancak yüksek hacimli pazarlarla ekonomik olarak rekabet edemeyecek pota ocakları ve günlük tanklarda üretilir.

Cam ev eşyaları sektöründe çok çeşitli tür ve boyutlarda fırınlar kullanılmaktadır, dolayısıyla fırın onarım aralığı buna göre değişir. Büyük fosil yakıt fırınları, büyük bir onarıma ihtiyaç duymadan önce 5 ila 8 yıl çalışacaktır. Elektrikli fırınlar 3 ila 6 yıl çalışacaktır. Pota ocakları için ise bu süre 10 ila 20 yıl olacak ve potanın her 3 ila 12 ayda bir değiştirilmesi gerekecektir. Günde 30 ton kapasiteli elektrikle ısıtılan tipik bir kurşunlu kristal fırını için, büyük çaplı bir onarımın (şekillendirme makineleri hariç) maliyeti 2 milyon Avro, yeni bir fırın ise 8 milyon Avro civarında olacaktır. Günlük 130 ton kapasiteli fosil yakıtlı tipik bir soda-kireç fırını için ise böylesi bir onarım (şekillendirme makineleri hariç) 4 milyon Avro, yeni bir fırın 12 milyon Avro civarında olacaktır.

1.6.4 Başlıca çevresel sorunlar

Cam ev eşyalarının yapımında kullanılacak hammaddeler genel olarak kolaylıkla temin edilebilir, nispeten zararsız, doğal veya yapay maddelerdir. Bunun istisnası, emisyonları önlemek için dikkatli şekilde kullanılması ve saklanması gereken kurşun oksit ve bazen antimon veya arsenik trioksit kullanımını içeren, kurşunlu kristal veya kristal cam üretimidir. Sektör, nispeten düşük seviyelerde atık üretir ve tesis içinde üretilen cam kırıklarının çoğu geri dönüştürülür. Kaliteden kaynaklanan kısıtlamalar nedeniyle bu mümkün olmadığında, cam kırıkları genellikle cam ambalaj sektörü tarafından geri kazanılır veya geri dönüştürülür (kurşun kristal ve kristal cam hariç). Genel olarak, proseste dışarıdan gelen cam cam kırıklarının kullanılması, söz konusu kalite hususları nedeniyle pratik değildir.

Cam ev eşyası üretim türlerinin büyük kısmının büyük su kirliliği sorunları yaratması beklenmemektedir. Su, çoğunlukla temizlik ve soğutma için kullanılır ve kolaylıkla geri dönüştürülebilir veya arıtılabilir. Bununla birlikte, kurşunlu kristal veya kristal cam üretiminde daha toksik bileşiklerin kullanılması kirlilik potansiyelinin artmasına yol açar. Standart teknikler ile, emisyonlar en aza indirilebilir ve kalıntı düzeyinde kirlilik giderilebilir.

Diğer cam sektörlerine gelince, cam ev eşyaları üretimi ile ilişkili en büyük çevresel sorun, yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreç olmasıdır. Fosil yakıtlı fırınlar için bu durum, yanmadan ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonundan ortaya çıkan ürünlerin emisyonuyla sonuçlanır. Fırın emisyonları ayrıca toz ve harman formülasyonunda bulunan uçucu malzemelerin buharlaşması ve ardından yoğuşmasından türeyen eser miktarda klorür, florür ve metali de içerir. Son ürüne bir takım özellikler vermek amacıyla belirli hammaddelerin kullanılması emisyonlara sebep olabilir; örneğin florür içeren hammaddelerden üretilen opal camdan hidrojen florür, borosilikat camlardan bor bileşikleri, nitrat kullanımından kaynaklanan azot oksit emisyonları vb. Asitli parlatmanın yapıldığı yerlerde ilgili hava, su ve atık sorunlarının dikkate alınması gerekir.

Tüm bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak her tekniğin getirdiği finansal ve çevresel etkiler söz konusudur. Son yıllarda emisyonlar ve enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılarak, çevresel iyileştirmeler yapılmıştır.

1.7 Özel cam

1.7.1 Sektöre genel bakış

[26, Özel 1998] [73, Özel Cam Önerisi 2007]

2005 yılında özel cam sektörü, cam sanayiindeki çıktının yaklaşık %2,1'ini üretmekte olup, tonaj olarak beşinci büyük sektördü. Sektör su camı hariç 0,770 milyon ton ürün üretti (bkz. Tablo 1.13), ancak tam üretim kapasitesi 1,29 milyon tondur.

Son derece kapsamlı bir sektör olan özel camın, nispeten yüksek değer içeren geniş ürün yelpazesi vardır: katot ışın tüpü (CRT) camı (paneller ve huniler); aydınlatma camı (tüpler ve ampuller); borosilikat cam; tüpler, laboratuvar ve teknik cam gereçleri; borosilikat ve seramik camlar (pişirme gereçleri ve yüksek sıcaklıklı evsel uygulamaları) ve optik camlar, kuvars camı, elektronik endüstrisi için camlar (örn. LCD paneller) vb.

Başta bazı borosilikat ve cam seramik ürünleri için cam ev eşyaları Sektörü olmak üzere, özel cam sektörü ile cam sanayiinin diğer sektörleri arasında belirli bir seviyede örtüşme mevcuttur. İlgili ürünler sektör çıktısının sadece küçük bir bölümünü temsil ettiği için bu önemli bir sorun olarak görülmemektedir.

2005 yılında, toplam kapasitenin % 53,5'ini oluşturan cam tüp ve ampuller ve toplam kapasitenin yaklaşık % 21,7'sini oluşturan CRT cam, özel cam sektörünün ana üretimini temsil ediyordu.

2005 ve 2007 yılları arasında, Birleşik Krallık, Fransa, Almanya, Litvanya ve Çek Cumhuriyeti'nde bulunan yedi CRT panel ve huni üretim tesisi kapandı. Böylelikle Polonya'da bir tesisi bulunan Hint özel şirketler grubu Videocon, Avrupa'da kalan tek CRT cam üreticisi oldu.

Aydınlatma camı, borosilikat cam ve cam seramikler için üretim, normalde 2010/75/AB sayılı Endüstriyel Emisyonlar Direktifinde belirtilen günlük 20 ton eşığının üzerindeyken, optik cam ve elektronik endüstrisine yönelik cam gibi düşük hacimli özel ürünleri üreten çoğu küçük üretici genellikle bu eşığın altında kalır.

Çok çeşitli düşük ve yüksek hacimli ürünler üreten bazı entegre tesisler mevcuttur ve bu durumlarda toplam üretim günlük 20 ton eşik seviyesinin üzerinde olabilir.

Genellikle kimya endüstrisinin bir parçası olarak kabul edilmesine rağmen, su camı (sodyum silikat), kum ve soda külünün ergitilmesi ile üretilir. Bu faaliyet, 2010/75/AB Direktifinin 3.3 ve 3.4 kısımlarında verilen tanımlara uymaktadır. 2001 yılında kabul edilen orijinal cam MET-Ref çerçevesinde, bu faaliyetin özel cam sektörüne dâhil olduğu düşünülmüştür ancak bu üretim artık Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi (LVIC-S) MET-Ref kapsamında değerlendirilmektedir [<http://eippcb.jrc.es/reference/>].

1.7.2 Ürünler ve pazarlar

[26, Özel 1998] [73, Özel Cam Önerisi 2007]

Tablo 1.13, sektörün her bir bölümünün çıktılarını göstermektedir. CRT cam, cam tüpler ve ampuller, kapasitenin neredeyse %80'ini oluşturmaktadır.

Tablo 1. 13: 2005 yılı için özel cam sektörünün incelemesi

Cam türü	Üretim (ton)	Kapasite (ton/yıl)	Sektör kapasitesi (%)
CRT cam (panel ve huni)	230000	280000	21,7
Cam tüpler ve ampuller	384000	692000	53,5
Borosilikat cam (tüpler hariç)	50000	90000	7,0
Diğer aydınlatma camları (kuvars, tüpler ve ampuller hariç)	30000	60000	4,6
Cam seramikler	55000	120000	9,3
Kuvars cam	5000	15000	1,2
Optik cam	6000	10000	0,8
Diğer cam türleri	10000	25000	1,9
Toplam özel cam	770000	1292000	100,0
Not.Su camı üretimi Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi (LVIC-S) MET-Ref kapsamındadır. Kaynak: [74, Özel Cam dağılımı 2007]			

Özel cam için en önemli ürünler ve pazarlar aşağıda açıklanmıştır.

Katot ışın tüpleri (CRT) cam ve düz paneller

CRT huni pazarının düşüşüyle eş zamanlı olarak, özellikle TV uygulamaları ve bilgisayar monitörleri için düz panel cam üretimi hızla büyümektedir. Tesislerin çoğu, LCD paneli ana üretim sahalarının, yani Asya'nın yakınında konumlanmaktadır. Kullanılan teknoloji ya yüzer ya da dikey çekmedir. Şimdiye kadar, cam panel üretimine yönelik olarak Avrupa'da sadece bir yüzdürme tesisi, Almanya'da Schott AG tarafından inşa edildi. 2008'e gelindiğinde, tesis hala tam olarak işler halde olmaktan ziyade, müşterilerle bir geniş örneklem aşamasındaydı.

Aydınlatma camı

Aydınlatma camının üretim hacmi hala yüksektir. Bu sektör, akkor ve floresan aydınlatmayı (hem ev hem de kamu uygulamaları için), halojen lambaları ve otomotiv farlarını içerir. Otomotivdeki kullanım, cam farların yerini polimer malzemelerin almasıyla birlikte azalmaktadır. Aydınlatma genel olarak olgun bir iştir, ancak Uzakdoğu'dan yapılan ithalatlar karşısında az da olsa yıpranmıştır. Projeksiyon cihazları için ısı/UV koruma filtreleri ve yansıtıcılar, küçük fakat yüksek katma değerli ürünlerdir.

Cam tüp

Cam tüplerin üretiminin esas itici gücü farmasötik ve tıbbi uygulamalardır. Uzun vadede polimerlerin işe bir tehdit oluşturabileceği söylenegelse de, pazarlar her sene tek rakamlı yüzdelerle büyümeler kaydetmekte ve Avrupa'daki üretim sahaları 2005'ten beri tam kapasite çalışmaya devam etmektedir.

İlaç uygulamalarına ek olarak, cam tüpler aydınlatma cam ve ampullerine yönelik olarak de üretilmektedir. Üretim, en yüksek çıktı Almanya'da olmak üzere AB'de yaygın olarak dağılmıştır. Bu tür ürünleri üreten 11 şirket bulunmaktadır: Schott, Osram ve Technische Glaswerke Ilmenau (Almanya); Philips (Hollanda); Demaglass (İngiltere); Gerresheimer Pisa ve Neubor Glass (İtalya); Lawson Mardon Wheaton (Fransa); Averti (İspanya); EMGO (Belçika), General Electric (Macaristan).

Cam seramikler

Cam seramik üretimi yılda yaklaşık %10'luk bir hızla büyümeye devam etmektedir (böylece üretim rakamları 1997'den beri neredeyse iki katına çıktı), ocaklar ve şömine pencerelerinin temsil ettiği büyük bir pazarı vardır. Avrupa'daki iki şirket (Almanya'da Schott ve Fransa'da Keraglass), yalnızca Avrupa'da, genellikle yüksek sıcaklıkta ve yüksek erime teknolojisiyle "yeşil cam" üretmektedir. Ürünler Avrupa dışına satıldığında yeşil cam olarak sevk edilirken, bitim işlemleri, yani 'seramikleme' ve bezenme, cihaz üreticisinin yakınında yapılır (örn. ABD, Çin). Bazı şirketler Çin'de de yeşil cam ergitir, ancak şimdiye kadar ürünlerin Avrupa kalitesinin tasarım ve kalite standartlarına uyduğu söylenemez.

Tüpler hariç borosilikat cam

Borosilikat camın tüketici ürünlerinde (örneğin cezveler, pişirme kapları, mikrodalga tepsileri, laboratuvar ekipmanları ve kimya tesisleri bileşenleri) kullanımı oldukça olgun bir sektör niteliğindedir. Belgenin yazıldığı tarihte (2010), pazarın bir kısmı düşük ücretli ülkeler tarafından sağlanmakta, polimerler ve tek kullanımlık alternatifler cam laboratuvar gereçlerini giderek daha fazla tehdit etmektedir. Son zamanlarda, polimer üretiminin yüksek hammadde maliyeti, borosilikat camın pazarı geri kazanmada daha iyi bir performans göstermesi bu eğilimi tersine çeviren faktörlerdir. Güneş enerjisini doğrudan veya tesislerdeki panellerden yansıtılıp konsantre edilmesiyle alan güneş enerjisi alıcılarının muhafazasında kullanılan tüpler, borosilikat camlarının yeni ve büyüyen bir uygulama alanı olarak öne çıkmaktadır.

Optik ve oftalmik cam

Optik ve oftalmik cam yapımı olgun işlerdir, bazı teknik engellerden ötürü Avrupa'daki üretim düzeyi kabul edilebilir seviyelerde kalmıştır. Oftalmik polimerlerin payı artış göstermeye devam etmektedir. Bununla birlikte, dünyanın bazı bölgelerinde pazarın önemli bir kısmını hala cam karşılamaktadır. Optik alanında, çok sayıda zorlu uygulama hala yalnızca cam ürünler tarafından yerine getirilmektedir. Birden fazla kompozisyon ve formülasyonla karakterize edilen küçük münfergit tonajlarla sektör oldukça bölünmüş durumdadır; cama belli özellikler vermek için özel hammaddelerin kullanılmasını gerektiren yüksek katma değer arz etmektedir.

Fırın kapasiteleri soda-kireç camları için 20 - 200 ton/gün ve borosilikat camlar için 20 - 50 ton/gün arasında değişmektedir. Soda-kireç fırınları ağırlıklı olarak yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlardır ve borosilikat fırınları çoğunlukla bazı oksijen ateşlemeli reküperatif fırınlarla beraber, elektrikli fırınlardır. Tablo 1.14, AB'de özel cam üreten başlıca tesisleri göstermektedir.

Tablo 1. 14: AB'de başlıca özel cam üretiminin coğrafi dağılımı

Üye Devlet	Üretim türü	Tesisler
Almanya	Cam tüpler/ampuller/cam seramikler	3
	Düz paneller	1
Polonya	CRT cam	1
	Cam ampuller	1
	Borosilikat pişirme gereçleri	1
Fransa	Cam tüpler/ampuller/cam seramikler	2
İtalya	Cam tüpler	2
Belçika	Cam tüpler/ampuller	1
Hollanda	Cam tüpler/ampuller	1
BİRLEŞİK KRALLIK	Cam tüpler/ampuller	1
İspanya	Cam tüpler/ampuller	1
Macaristan	Cam ampuller/aydınlatma elemanları	6
Avusturya	Farlar	1
Total		22

1.7.3 Ticari ve finansal hususlar

[26, Özel 1998] [19, CPIV 1998] [73, Özel Cam Önerisi 2007]

Özel camın türleri, geniş bir yelpazede faaliyet gösteren bazı şirketlerle beraber, olgunlaşmış işletmelerden, yüksek oranda gelişmekte olan pazarlara hizmet edenlere kadar uzanmaktadır. Büyüme, kar ve genel görünüş, sektörün her bir kısmında büyük farklılıklar gösterebilir. Örneğin, 1996'da bilgisayar monitörleri için CRT cam üretimi Avrupa'da çok yüksek bir büyüme göstermiş, diğer yandan optik cama olan talep, alternatif malzemelerden kaynaklanan rekabet nedeniyle durgunlaşmıştır. Sektörün 1986 ve 1996 yılları arasındaki genel büyümesi, üretim değerinin 1 750'ten 2 760 milyar Avro'ya yükselmesi ile sabit kalmıştır. 2005 yılında ise CRT hunilerine olan talebin düşmesi ve düz panel pazarındaki artış ile durum bundan tamamen farklı gelişmiştir.

2005'te AB'nin özel cam ihracatı (su camı hariç) 8 1716 ton, ithalatı 90 773 ton olmuştur ve önemli bir ticaret açığı yaşanmıştır. İthalat büyük oranda (yaklaşık %45) Uzakdoğu Asya'dan yapılmış, bunun %21,4'ü Çin'den gelmiştir.

Büyük ölçekli cam üretimi, önemli ölçüde uzun vadeli yatırım ve büyük sermayenin yanı sıra teknik beceriler gerektiren bir iştir. AB'de günde 20 tonun üzerinde üretim yapan özel cam üreticilerinin sayısının sınırlı olması, bu durumu kanıtlar niteliktedir. Bu birkaç şirketin AB'deki üretimin büyük bölümünü gerçekleştiriyor olmasına rağmen, Özel Cam sektöründe ayrıca genellikle yüksek değerli, yüksek kaliteli ve teknik olarak zorlu ürünler üzerine uzmanlaşmış birçok daha küçük ve daha düşük sermayeli tesisler mevcuttur.

Bu az miktardaki cam, genellikle elektrikle ısıtılan küçük fırınlarda üretilir ve bu fırınların çalıştırılma süreleri daha kısadır. Ölçeklerine rağmen, bu operasyonlar genellikle yüksek kaliteli ekipmana, kalifiye personele ve kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmalarına önemli düzeyde uzun vadeli yatırım yapılmasını gerektirir.

Özel cam sektöründe, geniş bir fırın yelpazesi kullanılır, dolayısıyla fırın onarım aralığı buna göre değişir. Özel cama yönelik büyük fosil yakıt fırınları, büyük bir onarıma ihtiyaç duymadan önce 6 ila 7 yıl çalışacaktır. Elektrikli fırınlar için yenilenme aralığı 3 ila 4 yıldır. Sektördeki geniş çeşitlilik nedeniyle, tipik maliyet tahmininde bulunmak güçtür; özel cam sektörünün ana ürünlerine ilişkin yatırım maliyetleri örnekleri Tablo 1.15'te gösterilmektedir.

Tablo 1. 15: Özel cam tesisleri için yatırım maliyetleri

Üretim Birimi	Kapasite	Yıllık çıktı	Toplam yatırım (milyon olarak)
Borosilikat pişirme gereçleri, laboratuvar camı vb.	Bir fırın (35 - 40 t/gün)	Tipik olarak 26 milyon adet	35 - 40 EUR
Cam seramik ocaklar	Bir fırın (65 t/gün)	3,5 milyon adet	75 EUR
Cam tüpler, ergitme ve çekme	İki fırın (30 - 35 t/gün)	16 000 ton net	50 - 70 EUR
Lamba ampulleri (soda-kireç camı)	Bir fırın (80 t/gün)	100 milyon adet	40 - 50 EUR

Kaynak: [161, Özel cam 2008]

1.7.4 Başlıca çevresel sorunlar

[73, Özel Cam Önerisi 2007]

Özel cam sektörü ürünlerinin geniş yelpazesi ve özelleşmiş nitelikleri, diğer birçok sektöre nazaran daha geniş bir hammadde yelpazesinin kullanılmasına yol açmıştır. Örneğin, bazı ürünler (CRT hunileri, optik renksiz cam cam) %20'nin üzerinde yüksek seviyelerde kurşun oksit içerir. Bazı bileşimlerde, arsenik ve antimon oksitleri gibi arındırıcılar gerekli olabilir ve bazı optik camlar %35'e kadar florür ve %10 arsenik oksit içerebilir.

Sektör, nispeten düşük seviyelerde atık üretir ve tesis içinde üretilen cam kırıklarının çoğu geri dönüştürülür. Kalite hususları, süreçte dışarıdan gelen ve tüketim sonrası cam kırıklarının kullanımını kısıtlamıştır. Atıkların geri dönüşümünü kolaylaştırmak üzere, CRT cam formülasyonlarını standartlaştırmaya yönelik girişimler geliştirilmiştir, ancak bu belgenin yazıldığı tarihte (2010), 1.7.1 kısmında belirtildiği üzere AB'deki CRT üretimi halihazırda oldukça düşmüş durumdadır. Su, çoğunlukla temizlik ve soğutma için kullanılır ve kolaylıkla geri dönüştürülebilir veya arıtılabilir. Özel cam üretimi, özellikle kurşun içeren camların cilalama ve zımparalama işlemleri nedeniyle su kirliliği problemine yol açabilir. Emisyonlar uygun taşıma ve döküntü önleme teknikleri ile en aza indirilebilir ve kalıntı düzeyinde kirlilik standart tekniklerle giderilebilir.

Fosil yakıtla çalışan tüm cam fırınlarıyla ilişkili en büyük çevresel sorun, bunun yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreç olmasıdır. Bu durum, yanmadan ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonundan ortaya çıkan ürünlerin emisyonu ile sonuçlanır. Fırın emisyonları ayrıca ham maddelerde bulunan toz ve eser miktarda klorür, florür ve metali de içerir. Son ürüne bir takım özellikler vermek amacıyla belirli hammaddelerin kullanılması emisyonlara sebep olabilir; örneğin florür içeren hammaddelerden hidrojen florür, borosilikat camlardan bor bileşikler, nitrat kullanımından kaynaklanan azot oksit ve arıtıcı veya renksizleştirme maddelerinden metal emisyonları. Toksik Harmandaki hammaddelerin kullanıldığı yerlerde, taşımadan, depolamadan ve fırından kaynaklanan emisyon potansiyelini kontrol altına almak için uygun tedbirler uygulanmalıdır. Tüm bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak her tekniğin getirdiği finansal ve çevresel etkiler söz konusudur. Son yıllarda emisyonlar ve enerji tüketimi hem birincil hem ikincil teknikler yoluyla önemli ölçüde azaltılarak, çevresel iyileştirmeler yapılmıştır.

1.8 Mineral yün

1.8.1 Sektöre genel bakış

[27, EURIMA 1998] [69, EURIMA veri derlemesi 2007]

Mineral yün sektörü, cam sanayiinin toplam üretim tonajının yaklaşık %10'unu temsil etmektedir. Sektör, reçine bazlı bir bağlayıcı ile bağlanan ve değişen uzunluklarda rastgele örülmüş ve birbirine geçmiş elyaflardan oluşan cam yünü ve taş yünü yalıtım malzemelerinin üretimini kapsamaktadır. Cam elyaf terimi bazen cam yünü tanımlamak için kullanılsa da, yalıtım, farklı proseslerle üretilen ve farklı pazarlara satılan kesintisiz cam elyaf sektörü ürünleri ile karıştırılmamalıdır.

2005 yılında sektör, 62 tesiste 21 000'den fazla kişinin doğrudan istihdamını sağlamış ve yaklaşık 3.6 milyar Avro değerinde 3 000 milyon tonluk üretim gerçekleştirmiştir. 1996 (AB-15) ve 2005 (AB-25) arasında, üretim 2 milyondan 3.62 milyon tona yükselmiştir.

AB'de beş ana üretici faaliyet göstermektedir: Saint-Gobain (13 Üye Devlette 21 tesis); Rockwool International (10 Üye Devlette 15 tesis); Paroc (4 Üye Devlette 7 tesis); URSA (7 Üye Devlette 7 tesis: İspanya, Fransa, Belçika, Almanya, Slovenya, Macaristan ve Polonya); ve Knauf Insulation/Heraklith (2006'da 6 Üye Devlette 10 tesis olmak üzere birleşti).

Bu şirketlerin çoğu AB dışı ülkelerde veya diğer sektörlerde faaliyet göstermektedir. AB'de bazı bağımsız üreticiler de bulunmaktadır.

Mineral yün sektörünün coğrafi dağılımı ve tesis boyutları aralıkları, üretimdeki tahmin edilen paylarıyla beraber Tablo 1.16 ve Tablo 1.17'de gösterilmektedir. Ancak Fransa'nın Angers kentinde kurulacak olan yeni bir tesis buna dâhil değildir.

Tablo 1. 16: AB-27'deki mineral yün tesislerinin sayısı

Üye Devlet	Tesis sayısı	AB üretiminin yaklaşık yüzdesi
Almanya	10	18,1
Polonya	6	13,3
Fransa	5	10,2
Hollanda	2	8,8
Birleşik Krallık	5	7,1
Danimarka	3	5,8
Finlandiya	5	5,6
İspanya	4	4,8
İsveç	3	4,2
Belçika	2	4,1
Çek Cumhuriyeti	2	3,4
Slovenya	3	3,0
Macaristan	3	2,7
Slovakya	1	2,2
Avusturya	2	1,9
İtalya	2	1,5
Litvanya	1	1,4
Portekiz	2	1,0
Yunanistan	1	0,8
İrlanda	1	0,2
Romanya	1	0,2
Bulgaristan	0	0,0
Kıbrıs	0	0,0
Estonya	0	0,0
Letonya	0	0,0
Lüksemburg	0	0,0
Malta	0	0,0
Total	64	3654333 ton

Kaynak: [69, EURIMA veri derlemesi 2007] [133, EURIMA Katkısı Kasım 2008]

Tablo 1.17, 2005 yılında belirlenen üretim aralıklarına düşen tesis sayısını göstermektedir. Tesislerin bazılarında birden fazla fırın çalıştırılmaktadır. Bu rakamlar, 2005 yılındaki fiili üretimi temsil etmektedir ve bu dönemde çoğu tesisin tam kapasitesinin %10 ila %20 altında çalıştığı tahmin edilmektedir. 2005 yılında tesis başına ortalama üretim 58 064 ton civarında olmuştur. Bu rakamların tonaj ve belirli bir uygulama için olduğu; taş yünü ürünlerinin, özellikle düşük yoğunluk aralığı için, cam yünü ürünlerinden önemli ölçüde daha yoğun olduğu unutulmamalıdır.

Tablo 1. 17: Belirtilen üretim aralıklarındaki mineral yün tesislerinin sayısı

Üretim aralığı (ton/gün)	<27	27 - 82	82 - 164	164 - 274	>274
Üretim aralığı (ton/yıl)	<10000	10000 ila 30000	30000 ila 60000	60000 ila 100000	>100000
Her bir aralıktaki tesis sayısı	4	12	24	17	7

Not: Üretim günü/yıl: 350

Kaynak: [69, EURIMA veri derlemesi 2007] [133, EURIMA Katkısı Kasım 2008]

1.8.2 Ürünler ve pazarlar

[27, EURIMA 1998]

Mineral yün ilk olarak 1864 yılında bir yüksek fırından çıkan erimiş cüruf üzerine püskürtmeli buharlama uygulanarak üretilmiştir. Ticari patentler ve üretim 1870'lerde başlamıştır. İkinci Dünya Savaşı sırasında, hasarlı evlerin ucuz prefabrik konutlarla yenilenme talebinin ortaya çıkmasıyla, pazar önemli ölçüde büyümeye başlamıştır. 1943'te sadece ABD'de 500000 tonun üzerinde mineral yün üretilmiştir. Gelişmiş ülkelerin çoğunda ısı yalıtımı herkes tarafından kabul edilmiştir ve hemen hemen her bina türüne dâhil edilmektedir. Termal özelliklerine ek olarak, mineral yün yalıtımı iyi akustik ve yangından koruma özelliklerine de sahiptir.

En önemli ürünleri, düşük yoğunluklu yalıtım ruloları, orta ve yüksek yoğunluklu levhalar, üfleme için bağlayıcısız yün ve boru yalıtkanıdır. Bu ürünler için başlıca pazarlar; binalarda ısı yalıtımı (duvarlar, çatılar, zeminler vb.), ısıtma ve havalandırma uygulamaları, endüstriyel (teknik) tesisler (proses boru tesisatı, kaplar, kimyasal tesisler, açık deniz ve denizcilik), yangın teçhizatı, akustik (ses absorpsiyonu ve yalıtımı), atıl besiyerleri ve toprak şartlandırmadır. Birçok uygulamada cam yünü ve taş yünü birbirinin yerine kullanılabilir, ancak bazı uygulamalarda bunlardan biri, diğerine tercih edilir. Taş yünü genellikle yüksek sıcaklık veya yangından koruma uygulamaları için tercih edilirken, cam yünü genellikle hafifliğin yüksek öneme sahip olduğu yerlerde kullanılır.

Mineral yün için en önemli pazar, üretimin %70'ini kapsayan, büyük ölçüde mevcut ekonomik iklime ve yönetmelik çerçevesine bağlı olan inşaat endüstrisidir.

Elyafli yalıtım, üretim için gerektirdiği teknik uzmanlığa rağmen, esasen ticari bir üründür. Aynı pazarlarda rekabet eden ürünler arasında farklılaşma imkanı kısıtlıdır ve rekabet temel olarak fiyata dayanmaktadır. Bu, sektörde önemli maliyet düşüşlerine ve küçülmeye yol açmıştır. Yüksek sıcaklığa ve yangına dayanıklı uygulamalar için sert boru kesitleri gibi katma değeri yüksek ürünler gerektiren "teknik" ürün pazarında fiyat rekabeti daha zayıftır.

İnşaat endüstrisinde gerekli olan orta sıcaklık aralığı nedeniyle çok çeşitli alternatif yalıtım malzemeleri mevcuttur. Bunlardan en sık kullanılanları plastik köpükler (en büyük rakip), selüloz lifi (parçalanmış gazete), vermikülit ve perlit ve köpüklü camdır. Bu malzemelerin hiçbiri, bütün performans alanlarında (düşük fiyat, termal performans, akustik performans, yangınlık ve montaj kolaylığı) mineral yünü ile kıyaslanamazlar, ancak hepsi pazarda bir yere sahiptir.

1.8.3 Ticari ve finansal hususlar

[27, EURIMA 1998] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996]

Mineral Yün Sektörü, senede yaklaşık %3 oranında büyüyen ve giderek daha rekabetçi hale gelen, köklü bir alandır. Mineral yün ürünleri düşük bir değer-hacim oranına sahiptir ve bu da ekonomik olarak taşınabilecekleri mesafeleri sınırlamaktadır. Buna rağmen, AB içinde önemli bir ticaret vardır, ancak AB dışı ticaret, üretimin %5'inden azını temsil etmektedir. Doğal olarak AB dışına ticaret, Üye Devletlerin AB üyesi olmayan ülkelerle sınır komşusu olduğu yerlerde en yüksektir.

Mineral yün üretimi, ciddi finansal kaynaklar, uzun vadeli yatırım ve yüksek teknik beceri gerektiren, son derece sermaye yoğun bir faaliyettir. Bu, pazara girişin önünde önemli bir engel oluşturur ve çoğu üretici, sektörde uzun bir geçmişe sahip olan büyük şirketlerdir. Sadece birkaç küçük bağımsız üretici mevcuttur.

Mineral yün sektöründe, oksijen-gaz, reküperatif ve elektrikli fırınlar, taş yünü üretimi için ise ağırlıklı olarak sıcak havalı kupol ocakları kullanılır.

Fırınların kullanım ömrü sınırlıdır ve fırın yenileme aralığı tasarıma göre değişiklik gösterir. Reküperatif ve oksijen-gaz fırınlar, büyük bir onarım gerektirmeksizin 8 ila 12 yıl, elektrikli fırınlar ise 3 ila 6 yıl çalışacaktır. Kupol ocakları daha uzun ömürlüdür ve uzun süreler boyunca kesintisiz çalışmazlar, yeniden kapatılmadan önce genellikle 1-3 hafta boyunca işletilirler.

Yıllık 60000 ton kapasiteli tipik bir cam yünü tesisi yaklaşık 100 milyon Avro'luk bir yatırım maliyetini temsil etmektedir. Benzer bir hacimde (yılıda yaklaşık 120000 ton) üretim yapan bir taş yünü fabrikası da yine benzer bir yatırımı temsil edecektir. Cam fırını değiştirme maliyetleri, diğer cam sektörleri için verilenlerle kıyaslanabilir niteliktedir.

1.8.4 Başlıca çevresel sorunlar

Tüm cam yapımı faaliyetlerinde olduğu gibi, mineral yün üretimi de yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımıyla gerçekleştirilen bir süreçtir. Fosil yakıtlı fırınlar için bu durum, yanma ürünlerinin emisyonu ve atmosferik azotun, yani kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitlerin yüksek sıcaklıkta oksidasyonu ile sonuçlanır. Fırın emisyonları ayrıca, toz ve ham maddelerde safsızlık olarak mevcut olduğu durumlarda eser miktarda klorür, florür ve metali de içerir.

Mineral yün sektöründe iki önemli emisyon kaynağı daha vardır; bunlar, şekillendirme alanı (elyaflara bağlayıcının uygulandığı yer) ve kütleme fırınıdır (ürünün kurutulduğu ve bağlayıcının kondense edildiği yer). Şekillendirme alanı emisyonlarının önemli seviyelerde partikül madde, fenol, formaldehit, amonyak ve su içermesi muhtemeldir. Kütleme fırını emisyonları, uçucu bağlayıcı bileşenleri, bağlayıcı çözme ürünleri ve fırın brülörlerinden çıkan yanma ürünlerini içerecektir.

Tüm bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak her tekniğin getirdiği finansal ve çevresel ortamlar arası etkiler söz konusudur. Mineral yün üretiminde önemli çevresel iyileştirmeler yapılmıştır. Emisyonlar önemli ölçüde azaltılmış ve enerji tüketiminde büyük düşüşler sağlanmıştır.

Genel olarak, mineral yün üretiminin önemli su kirliliği problemleri yaratması beklenmemektedir. Temel prosesler, büyük ölçüde şekillendirme alanından ve kütleme fırınından gerçekleşen buharlaşma nedeniyle net su kullanıcılarıdır. Proses suyu sistemleri genellikle temiz su doldurulmuş kapalı devrelerdir, ancak temiz su sistemlerinin kirlenmesini önlemek için belirli önlemler gereklidir. Emisyonlar uygun taşıma ve döküntü önleme teknikleri ile en aza indirilebilir ve kalıntı düzeyinde kirlilik standart tekniklerle giderilebilir.

Sektörün genel çevresel etkisini değerlendirirken, ürünlerle ilişkili bazı çevresel faydaların da göz önünde bulundurulması faydalı olacaktır. Mineral yün üretimi, ürünlerin kullanımı sırasında sağlanacak potansiyel tasarrufla kıyaslandığında nispeten daha az enerji gerektirir. Kurulumunu takip eden bir aydan daha kısa bir sürede, mineral yün ürünleri, üretimleri için kullanılan enerjinin tamamının tasarrufunu sağlayabilir. Binalar için genellikle 50 yıl olan kullanımın ardından, tasarruf edilen enerji miktarı, üretim sırasında tüketilenden 1000 kat daha fazla olabilir. Fosil yakıttan üretilen elektrikten kaynaklanan tipik CO₂ emisyonları ile kıyaslandığında, bir ürün 50 yıllık kullanımı boyunca, üretimi sırasında salınan CO₂ miktarının 1000 katı kadar tasarruf sağlayabilir. Daha yüksek sıcaklıklarda, örneğin borularda, kazanlarda ve proses tesislerindeki tasarruf önemli ölçüde daha yüksek olabilir ve yatırımın çevresel geri dönüşü haftalar değil günler alabilir.

1.9 Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri

1.9.1 Sektöre genel bakış

[41, ECFIA 1998] [116, ECFIA 2008] [143, ECFIA Kasım 2008]

Bu belgede sadece mineral maddelerin ergitilmesi yoluyla 'amorf' yüksek sıcaklık yalıtım cam yünü (HTIW) üretimi ele alınmaktadır. Bazı yünler (örn. çok kristalli alümina yünleri-PCW) kimyasal bir işlem olan sol-jel yöntemiyle üretilebilir, ancak bu faaliyetler 2008/1/AK Direktifi Ek I'in 3.3 veya 3.4 numaralı bölümlerinde verilen tanımlar kapsamına girmediklerinden dolayı bu belgede dikkate alınmayacaklardır.

AB'de şu anda (2010) dört üretim tesisi bulunmaktadır ve 2005 yılında yaklaşık 42 750 ton olan tahmini üretim (toplam cam endüstrisinin %0.11'i ve mineral yün sektörünün %1.2'si), ağırlıklı olarak Birleşik Krallık, Fransa ve Almanya'dan kaynaklanmaktadır. AB'de faaliyet gösteren üç şirket vardır: Thermal Ceramics (bir üretim tesisi), Unifrax (iki üretim tesisi) ve Rath (bir tesis). Üretim tesislerinin coğrafi dağılımı Tablo 1.18'de verilmiştir.

Tablo 1. 18: Üye Devletlerde HTIW tesislerinin dağılımı

Üye Devlet	Tesis sayısı
Fransa	2
Almanya	1
Birleşik Krallık	1
Total	4

1.9.2 Ürünler ve pazarlar

[41, ECFIA 1998] [116, ECFIA 2008] [70, VDI 3469-1 2007] [71, VDI 3469-5 2007] [129, EN 1094-1 2008] [176, TRGS 619 2007]

Temelde iki tip inorganik yüksek sıcaklık yalıtım yünü (HTIW) vardır. En yaygın olarak uygulanan amorf yünlere (AES ve ASW/RCF) ek olarak, çok kristalli alümina yünü (PCW) mevcuttur.

Teknik olarak AES yünleri, kimyasal bileşimleri özelinde mineral yün grubuna aittir. Ancak yüksek sıcaklık uygulamaları alanındaki özgün kullanımları nedeniyle HTIW ürünleri altında gruplandırılmıştır.

ErgitErgitme işleminde %58'e kadar Al_2O_3 içeriğine sahip amorf yüksek sıcaklık yalıtım yünü üretilebilir.

Avrupa Standardı EN 1094-1'e göre (izolasyon refrakter ürünleri-Bölüm 1: Yüksek sıcaklık yalıtım yün ürünleri için terminoloji, sınıflandırma ve test yöntemleri - www.cen.eu/cenorm/index.htm adresini ziyaret edin), bu belgede ele alınan amorf HTIW aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- refrakter seramik elyaflar (RCF) olarak da bilinen alüminyum-silikat cam yünleri (ASW)
 - alüminyum-silikat cam yünü (yüksek saflıkta)
 - alüminyum-silikat-zirkonyum cam yünü.
- alkali toprak silikat cam yünü (AES):
 - kalsiyum silikat cam yünü
 - kalsiyum-magnezyum-silikat cam yünü
 - kalsiyum-magnezyum-zirkonyum-silikat cam yünü
 - magnezyum silikat cam yünü.

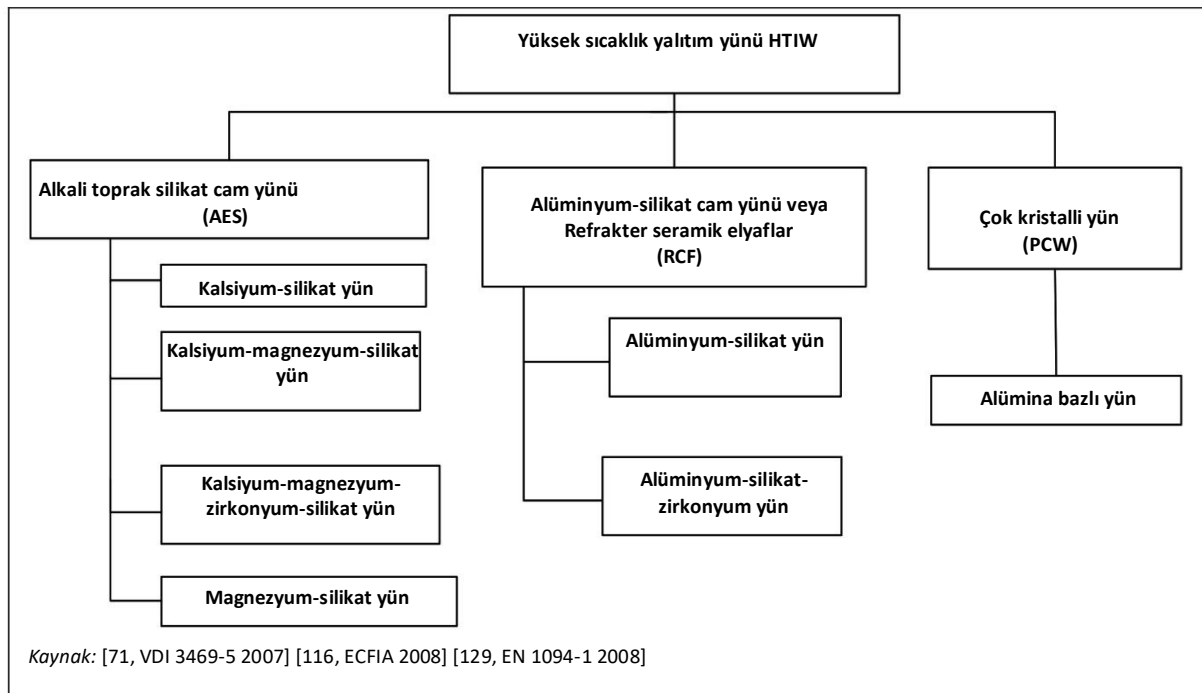
Kalsiyum-magnezyum-zirkonyum-silikat cam yünü artık üretilmemekle birlikte kurulumlarda hala yerindedir.

Tüm HTIW ürünleri aşağıdakileri içeren benzer özellikler taşır:

- düşük yığın yoğunluğu
- düşük ısı depolama kapasitesi
- düşük ısıl iletkenlik ve
- neredeyse sınırsız termal şok direnci.

ASW/RCF ürünleri, özellikle 600 °C ile 1400 °C arasındaki yüksek sıcaklık uygulamalarında önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamak için uygundur. AES (alkali-toprak-silikat) yünleri, CaO, MgO, SiO₂ ve ZrO₂'nin bir kombinasyonunun ergitilmesiyle üretilen amorf liflerden oluşur. Bu ürünler genellikle <1200 °C uygulama sıcaklıklarında kullanılır.

Şekil 1.2, 600 ile 1800 °C arasındaki uygulamalar için en yaygın kullanılan yüksek sıcaklık yalıtım yünlerini göstermektedir.



Şekil 1.2: 600 °C'nin üzerinde ve 1800 °C'ye kadar en yaygın kullanılan yüksek sıcaklık yalıtım yünleri

Amorf alüminyum-silikat yünü (ASW/RCF) esas olarak endüstriyel cihazlar için yüksek sıcaklık yalıtım malzemesi (600 – 1400 °C) olarak kullanılır (%90 fırın astarı ve endüstriyel yalıtım, %8 otomotiv kullanımı ve %2 yangından koruma). Alkali-toprak-silikat cam yünü (AES) esas olarak ev aletleri (%33), endüstriyel yalıtım (%45), yangından koruma (%12) otomotiv (%4) ve diğer uygulamalar (%6) için kullanılır. Başlıca ürün formları; dökme elyaf, battaniye (keçe veya modüller), fiber levha, fiber kağıt, vakumla şekillendirilmiş ürünler ve tekstil ürünleridir. Bahsedilen tüm ürünler dökme yünden elde edilmektedir.

Ürünlerin çoğu kimya, petrokimya, demir-çelik, seramik, cam, demir içermeyen metaller, çimento gibi geleneksel ağır sanayilere satılmaktadır. HTIW ürünler nispeten yüksek değere sahiptir ve dünyadaki çoğu pazara ekonomik olarak ulaştırılabilir. Fırın kurulumlarında kullanımının yanı sıra, ürünler genellikle otomotiv katalitik konvertörleri, dizel partikül filtreleri, [177, VDI 3677 Bölüm 1, taslak baskı 2009] contalar, piston balataları ve ısı kalkanları gibi diğer ürünlere dönüştürülür veya bunlara dâhil edilir. Birincil ürünlerin yaklaşık % 30 – 40'ı ikincil uygulamaların bileşenleri olarak kullanılmaktadır.

1.9.3 Ticari hususlar

[41, ECFIA 1998] [116, ECFIA 2008]

HTIW endüstrisi, esas olarak endüstriyel uygulamalara yönelik niş ürünler üretmektedir. Mineral yün üretim sektörünün geneline bakıldığında küçük bir endüstridir (%1.2), cam sektörünün tümü göz önüne alındığında (%0.11) daha da küçüktür. 2008 yılında, sektördeki konsolidasyon sonucunda AB'de amorf HTIW üreten sadece üç şirket mevcuttu.

HTIW endüstrisini etkileyen ana faktör üretim maliyetidir (enerji, hammadde ve işçilik).

Tipik kapasiteye sahip yeni bir fabrikanın tahmini maliyeti 6 ila 8 milyon Avro'dur. Fırınlara elektrikle ısıtılır ve ömürleri 10 ila 20 yıl arasındadır; yeni fırın maliyetlerinin ise 100 000 ila 200 000 Avro aralığında olduğu tahmin edilmektedir. Fırınlara yenilenmesi (uygun olduğu ölçüde elektrotlar, astar, vb.) yaklaşık her üç ayda bir gerçekleştirilir, bu da yaklaşık 20.000 Avro'luk bakım maliyeti anlamına gelir.

Ürünlerin endüstriyel kullanıcılarını etkileyen ana faktörler, enerji tasarrufu, azaltılmış CO₂ emisyonları, ürünlerde daha yüksek kalite ve HTIW kullanılan agreganın iyileştirilen esnekliğinden elde edilen faydalardır. Üretimin önemli bir kısmı ihraç edilmekte, ithalat nispeten düşük seviyede kalmaktadır.

HTIW ürünleri, yukarıda bahsedilen önemli faydalar nedeniyle, diğer refrakter malzemelerle (tuğlalar ve dökülebilir malzemeler gibi) karşılaştırıldığında kayda değer enerji tasarrufu elde etmek ve sera gazlarının (yani CO₂) azaltılması için özellikle uygundur. Örnek olarak, çelik endüstrisinde HTIW modülleri uygulandığında geleneksel astarlara kıyasla %30'a varan enerji tasarrufu rapor edilmiştir. Bazı düşük sıcaklık uygulamalarında (<800 °C) mineral yün, özel çok yüksek sıcaklık uygulamalarında (>1300 °C) ise çok kristalli alümina yünden kaynaklanan rekabet mevcuttur. Taş ve cam yünü ürünleri, ASW/RCF ve AES yünlerinden yapılanlardan önemli ölçüde daha ucuz olmakla beraber daha az dayanıklıdır, diğer yandan çok kristalli alümina yünden üretilenler ise çok daha pahalıdır. Bnzersiz termal ve fiziksel özellikleri sayesinde, HTIW muadili maddeler şu an için bir rekabet tehdidi oluşturmamaktadır. Uygulamanın kendi gereksinimleri ve üretim sürecindeki teknik koşullar, hangi ürünün en uygun olduğunu ve ateş tuğlası ve dökülebilir malzemelere tercih edilip edilmeyeceğini belirler.

1.9.4 Başlıca çevresel sorunlar

[116, ECFIA 2008]

Cam sanayiinin diğer sektörlerinden farklı olarak, HTIW Sektöründe yalnızca elektrikli direnç fırınları kullanılır, dolayısıyla doğrudan fırından kaynaklanan emisyonlar çok düşüktür ve kolaylıkla kontrol altına alınabilir (toz giderme için filtreler).

En büyük çevre sorunu, ilave işlemlerin olması durumunda lifli toz içerebilen partikül maddelerin havaya emisyonudur. Bu durum, hava filtreleme sistemleriyle çözümlenir.

67/548/AET sayılı Tehlikeli Maddeler Direktifi'nin (bkz. 1272/2008 Sayılı Yönetmelik (AK)) tanımları kapsamında, alüminyum silikat cam yünü/refrakter seramik elyaflar (ASW/RCF) Kategori 2 kanserojen olarak sınıflandırılmış; Sınıflandırma, Etiketleme ve Paketleme (CLP) Yönetmeliği (EC) No 1272/2008'e dâhil edilmiştir. AES yünleri bu sınıflandırmanın dışında kalmıştır.

Sınıflandırmalarına göre iş yerindeki ve çevreye olan elyaf emisyonları dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

Genel olarak, atık seviyeleri nispeten düşüktür. Düşük seviyelerde, askıda katı maddeler içeren sulu emisyonlar vardır. İkincil işleme işlemlerinden kaynaklanan bazı organik bileşikler olabilir. HTIW üretim tesislerinin emisyon seviyeleri çok düşüktür. AB'deki tesislerin tümü, gerektiği yerlerde toz azaltma ekipmanı ile donatılmıştır.

1.10 Fritler

1.10.1 Sektöre genel bakış

[47, ANFFECC 1999]

Frit sektörü daha çok seramik sanayii ile ilişkilendirilir, ancak 2008/01/AK sayılı Direktifin Ek l'inin 3.4 kısmındaki tanım altında yer aldığından, bu belgenin kapsamına girer. AB'deki üretiminin 2005 yılında 1.25 milyon ton olduğu tahmin edilen fritler, cam sanayiinin en küçük sektörlerinden biridir. Çalışanların sayısını belirlemek zordur çünkü birçok şirket için frit üretimi faaliyetlerinin yalnızca küçük bir kısmını oluşturur. Sektör, seramik malzemeleri ve metallerin bezenmesinde kullanılan sır ve emayeler için frit üretimini kapsamaktadır. Cam fritler veya seramik fritler, toplam frit üretiminin (seramik ve emaye) yaklaşık %95'ini oluşturur.

AB'de büyük çoğunluğu İspanya ve İtalya'da bulunan 50 civarında tesis olduğu tahmin edilmektedir. İspanya, dünyadaki en büyük üretici olarak toplam AB üretiminin %80'ine karşılık gelmektedir.

Avrupa'da bulunan toplam kapasitesi >20 ton/gün olan frit tesislerinin coğrafi dağılımı Tablo 1.19'da gösterilmektedir.

Tablo 1. 19: Toplam kapasitesi >20 ton/gün olan frit tesislerinin dağılımı (2008 tahmini)

Üye Devlet	Tesis sayısı
İspanya	21
İtalya	9
Almanya	5
Çek Cumhuriyeti	2
Fransa	2
Hollanda	2
Polonya	2
Birleşik Krallık	2
Portekiz	1
Belçika	1
Avusturya	1
Total	48 (tahmini)
Kaynak: [99, ITC-C080186 2008]	

Frit sektörünün büyük kısmını temsil eden İspanya'da yerleşik tesisler için üretim kapasitesinin dağılımı Tablo 1.20'de gösterilmektedir.

Tablo 1. 20: Belirtilen üretim aralıklarındaki İspanya'da bulunan frit tesislerinin sayısı (tahminler)

Üretim aralığı (ton/gün)	<50	50 ila 150	>150
Her bir aralıktaki tesis sayısı	4	12	5
Kaynak: [98, ANFFECC Frit Sektörünün Konumu 2005] [99, ITC-C080186 2008]			

1.10.2 Ürünler ve pazarlar

[47, ANFFECC 1999] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996]

Fritlerin birincil uygulama alanı seramik sırları ve pigmentlerin imalatıdır. Bu sırlar, karolar ve sofa eşyaları gibi seramik kütlelerin yüzeyine uygulandıklarında ve ardından pişirildiklerinde geçirimsiz, koruyucu ve dekoratif bir kaplama sağlar. Fritler, kendi sırlarını üreten seramik eşya üreticilerine saf halde satılabileceği gibi, frit imalatçıları sırları kendileri üreterek de tedarikini sağlayabilir. Sektör genelinde, tipik olarak üretilen fritlerin yarısından fazlası, sır üretiminde tesis içinde kullanılmaktadır.

Emaye fritler, başlıca uygulaması kimyasal ve fiziksel olarak dirençli bir kaplama sağlamak için metal yüzeylerin kaplanması olan, emaye sırların imalatında kullanılır. Emayelerin başlıca pazarı, pişirme ekipmanlarının imalatı ve ocaklar, fırınlar, ızgaralar vb. için kaplamalardır. Emayelerin diğer uygulama alanları arasında depolama tankları, silolar, banyolar, elektronik bileşenler ve levhalar bulunur. Emaye fritleri, frit üretiminin yaklaşık sadece %5'ini temsil eder.

Fritler nispeten yüksek değerli, düşük hacimli ürünlerdir ve nakliye maliyetleri genellikle toplam ürün fiyatının nispeten küçük bir bölümünü oluşturur. Sektörde dünyanın her yerinde meydana gelen birleşmeler, daha geniş uluslararası pazarlara hizmet veren, nispeten daha az sayıda ancak daha büyük tesislerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanmaktadır.

AB'nin lider olduğu ve AB için stratejik bir sektör olmasına rağmen, AB dışı ülkelerdeki çevresel yönetmelikler, hammadde maliyetleri, sosyal ve ekonomik koşulların pazarda AB'de üretilen fritlere karşı avantaj sağlayabileceği nedeniyle, AB dışı üretim ihtimalinin getirdiği tehdit göz önünde bulundurulmalıdır.

1.10.3 Ticari hususlar

[47, ANFFECC 1999] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996]

Frit üretiminin hacmi önemli ölçüde arttı, İspanya'nın son birkaç yıldır satışlarında artış gözlemlendi. AB dışındaki ülkeler şiddetli rekabete neden olmaktadır. AB'de üretilen çok sayıda frit AB içinde tüketilmekle beraber, AB dışındaki ülkelere yapılan ihracat da seramik frit üreticileri için önemli bir pazardır. Seramik frit üretimi, seramik sektörüne uzun yıllardır tedarik sağlayan köklü bir endüstridir. Frit içermeyen diğer sır türleriyle rekabet, uygun teknik özelliklerin yokluğu nedeniyle azdır.

Sofra gereçleri için plastik kaplamalar gibi alternatif malzemeler geliştirilmiştir, ancak bunlarda da özellikle gıdalarda bulunan organik asitlerin varlığında, ham sırlarda görülen özütleme sorunları mevcuttur. Plastik kaplamaların karo sırları pazarını ne ölçüde etkileyebileceği bilinmemektedir. Emaye sırlarda, muadil maddeler büyük bir tehdit oluşturmaz. Boyalar gibi alternatiflerin benzer uygulamalarda kullanılması olasıdır; ancak ısı, kimyasal ve çizilme direnci ve "temizlenebilirlik" açısından emayelerin özellikleri ile kıyaslanamazlar.

1.10.4 Başlıca çevresel sorunlar

Frit üretimi ile ilişkili en büyük çevresel sorun, yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreç olmasıdır. Bu durum, fırının yüksek sıcaklığında atmosferik azotun oksidasyonundan ve harman bileşiminde kullanılan malzemelerin buharlaşmasından kaynaklanan, azot oksitleri içeren yanma ürünlerinin emisyonlarına neden olur. Harman bileşiminde kullanılan hammaddeler ve maddelerin türüne bağlı olarak, eser miktarda klorür, florür ve metaller gibi farklı elementler içerebilen uçucu malzemelerin, buharlaşarak ve ardından yoğunlaşarak oluşturduğu toz da fırın emisyonları arasındadır.

Kağıt üzerinde bütün bu emisyonları en aza indirmeye yönelik teknik çözümler mevcuttur. Ancak elverişliliklerinin belirlenmesi açısından, her bir teknik getirdiği kendine özgü finansal ve çevresel sonuçlar yönünden derinlemesine incelenmelidir.

Su, esas olarak cam harmanı ergitme prosesinde soğutma için ve tesisat temizleme işlemlerinde kullanılmaktadır. Kapalı devrelerde her zaman su kullanılır.

Genel olarak su devrelerinden toplanan katılardan kaynaklanan atıklar, oldukça düşüktür. Çoğu durumda, toz azaltma ekipmanından gelen atıkların fırına geri dönüşümü sağlanabilir.

2. UYGULANAN PROSES VE TEKNİKLER

Bu bölümün ilk üç genel kısmı, cam sanayiindeki sektörlerin çoğu için geçerli olan ortak hammadde ve ergitme hususlarını kapsamaktadır. Ardından gelen kısımlarda ise her sektöre özel konular ayrı ayrı açıklanmaktadır. Sektörlerden üçü, yani taş yünü, frit ve yüksek sıcaklık yalıtım yünleri, kullanılan bazı malzeme ve teknikler bakımından diğerlerinden farklılık gösterir. Bu farklılıklar sektörlere özel kısımlarda ele alınmıştır.

2.1 Malzemelerin taşınması

Cam sanayiindeki çeşitlilik, kullanılan hammaddelerin de oldukça çeşitli olmasına yol açmıştır. Bu malzemelerin çoğu, doğal mineraller veya yapay ürünlerden oluşan, katı inorganik bileşiklerdir. Bunlar, kaba malzemelerden ince çekilmiş tozlara kadar çeşitlilik gösterirler. Sıvılar, ve bir dereceye kadar gazlar da çoğu sektörde kullanılmaktadır.

Kullanılan gazlar arasında hidrojen, azot, oksijen, kükürt dioksit, propan, bütan ve doğal gaz bulunur. Bunlar, örneğin direkt boru hatları, özel yığın depolama ve silindirler gibi geleneksel yöntemlerle depolanır ve kullanılır. Fenol ve güçlü mineral asitler gibi dikkatli taşıma gerektiren bazı çeşitler de dâhil olmak üzere, çok çeşitli sıvı malzemeler kullanılır. Endüstride tüm standart depolama ve taşıma biçimleri kullanılır, bunlardan bazıları yığın halinde depolama, orta boy dökme yük konteynerler (IBC'ler), variller ve daha küçük konteynerlerdir. Sıvı depolama ve taşımada kaynaklanan emisyonları en aza indirmeye yönelik potansiyel teknikler Bölüm 4'te ele alınmaktadır.

Çok kaba malzemeler (partikül çapı > 50 mm) sadece taş yünü üretiminde kullanılır. Bu malzemeler demiryolu veya karayolu ile sevk edilir ve doğrudan silolara taşınır veya depolama bölmelerinde stoklanır. Depolama bölmeleri açık, kısmen kapalı veya tamamen kapalı olabilir, sektörde her üçünün örnekleri görülmektedir. Kaba materyalin silolarda depolandığı durumlarda, genellikle açık halde olan silolar bir konveyör sistemi ile doldurulur. Malzemeler daha sonra kapalı konveyör sistemleri ile fırına aktarılır. Malzemeler aynı anda besleyici konveyör üzerine serilerek karıştırılır.

Granül ve toz halindeki hammaddeler, demiryolu veya karayolu tankerleri ile sevk edilir ve pnömatik veya mekanik olarak yığın depolama silolarına aktarılır. Malzemelerin pnömatik transferi, esasen kuru olmalarını gerektirir. Silolardan çıkan hava genellikle filtrelendir. Daha düşük hacimli malzemeler, torbalar veya fiçilerde teslim edilebilir ve genellikle karıştırma kaplarına kendi ağırlıklarından faydalanılarak beslenir.

Büyük ölçekli sürekli proseslerde, hammaddeler, hassas bir şekilde formüle edilmiş bir "harman" sağlamak amacıyla, tartıldıkları yerden genellikle otomatik olarak daha küçük ara silolara aktarılır. Ardından harman karıştırılır ve bir veya birden fazla besleme hunisi ile fırına beslendiği fırın alanına aktarılır. Sanayide, tamamen açık sistemlerden tamamen kapalı vidalı beslemeli sistemlere kadar değişen çeşitli besleme mekanizmaları mevcuttur. Aktarma sırasında meydana gelen tozu ve fırından ince partiküllerin 'taşınmasını' azaltmak için harmanda, genellikle % 0 - 4 aralığında olmak üzere su içeriği bulundurulabilir (bazı proseslerde, örneğin, borosilikat cam üretiminde, kuru Harmandaki hammaddeler kullanılır). Su içeriği, karıştırma işleminin sonunda buhar olarak verilebilir, ancak hammaddelerin kendi su içeriği de olabilir. Soda-kireç camında, sıcaklığı 37 °C'nin üzerinde tutmak ve böylece harmanın soda külünün hidrasyonu yoluyla kurumasını önlemek için bazen buhar kullanılır.

Aşındırıcı yapısı ve daha büyük olan partikül boyutu nedeniyle, cam cam kırıkları genellikle birincil Harmandaki hammaddelerden ayrı olarak taşınır ve ayrı bir sistem ile, ölçülen miktarlarda fırına beslenebilir.

Kesintili süreçlerde harmanlama tesisi çok daha küçüktür ve genellikle manuel olarak çalıştırılır. Karıştırmanın ardından harman, her biri ergitici için bir birim yükleme içeren hüçük, hareketli hunilerde depolanabilir. Bazen farklı formülasyonlara sahip olabilen, birden fazla yük oluşturulur ve belirli bir ergitme sürecinde kullanılmak üzere ergiticinin yakınında depolanır. Büyük ölçekli ergitmede olduğu gibi, karıştırılmış harmanın kullanımından önce çok uzun süre saklanması mümkün değildir, çünkü farklı bileşenler çökebilir ve bu durum homojen bir eriyiğin elde edilmesini zorlaştırır. Harmanda su bulunması bu çökme eğilimini azaltmaya yardımcı olur.

2,2 Cam ergitme

Eriyik haldeki camın oluşturulması için ayrı durumdaki hammaddelerin yüksek sıcaklıkta birleştirilmesi işlemi olan ergitme, cam üretimindeki merkezi aşamadır. İstenilen ürüne, son kullanımına, işlemin ölçeğine ve mevcut ticari faktörlere bağlı olarak cam ergitiminin birçok yolu vardır. Cam formülasyonu, hammaddeler, ergitme tekniği, yakıt seçimi ve fırın boyutu bu faktörlere bağlı olacaktır.

Eriyik camın fırında kalma süresi üretilen camın türüne göre önemli ölçüde değişir. Asgari kalış süresi, cam kalitesinin sağlanması için çok önemli bir parametredir. Normalde, üretilen camın kalitesi ne kadar yüksek olursa, mükemmel bir homojenizasyon sağlamak ve son ürünün özelliklerini etkileyecek olası taş, kabarcık vb. ortadan kaldırmak üzere kalma süresi o kadar uzun olur. Eriyik camın fırında kalış süresindeki değişim, özgül enerji tüketimi ile doğrudan ilişkilidir; bu nedenle, sabit ergitme fırını kapasitesi için, üretilen camın türü özgül enerji tüketimini önemli ölçüde etkileyen bir değişken olabilir.

2.2.1 Cam yapımında kullanılan hammaddeler

[19, CPIV 1998] [22, Schott 1996] [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007] [100, ICF MET-Ref revizyonu 2007]

En önemli cam yapım hammaddeleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2. 1: Cam yapımında kullanılan önemli hammaddeler

Cam yapıcı malzemeler
Silis kumu, proses cam kırıkları, tüketim sonrası cam kırıkları.
Ara ve değiştirici malzemeler
Soda külü (Na_2CO_3), kireçtaşı (CaCO_3), fırınlanmış kireç (CaO), dolomit ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$), fırınlanmış dolomit (CaO.MgO) feldispat, nefelin siyenit, potasyum karbonat, flüspat, alümina, çinko oksit, kurşun oksit, baryum karbonat, stronsiyum karbonat, bazalt, anhidrit sodyum sülfat , kalsiyum sülfat ve jips, baryum sülfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat, bor içeren malzemeler (örn. boraks, kolemanit, borik asit), antimon oksit, arsenik trioksit, yüksek fırın cürufu (kalsiyum, alüminyum, magnezyum silikat ve demir sülfür karışımı)
Renklendirici/renk giderici maddeler
Demir kromit ($\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{Cr}_2\text{O}_3$), demir oksit (Fe_2O_3), kobalt oksit, selenyum/çinko selenit, karbon, sülfidler (pirit).

Hammaddelerle ilgili ayrıntılı bir tablo Bölüm 3.2.1'de verilmiştir.

Kum, ana SiO_2 kaynağı olduğundan, cam yapımı için en önemli hammaddedir. Yaygın olarak bulunur, ancak çoğu bırakıntı cam yapımı için yeterli saflıkta değildir. Kumun erime noktası ekonomik bir ergitme işlemi için fazla yüksektir ve ergitme sıcaklığını düşürmek için genellikle sodyum oksit gibi bir ergitken maddeye ihtiyaç vardır.

Soda külü (Na_2CO_3), ergitken bir madde olan sodyum oksidin (Na_2O) ana kaynağıdır. Sodyum oksit ergitertirme sırasında eriyiğin bir parçası haline gelir ve karbondioksit açığa çıkar. Sodyum sülfat, arındırıcı ve oksitleyici madde olarak eklenir ve ikincil bir sodyum oksit kaynağı teşkil eder. Sodyum oksit cama dâhil olur ve eriyiğin içinden kükürt oksit gazları salınır. Ergitken görevi gören potasyum karbonat (K_2CO_3), özellikle özel cam için bazı işlemlerde kullanılmaktadır. Potasyum oksit eriyiğe dâhil olur ve karbondioksit salınır.

Sertliği ve kimyasal direnci artırmak amacıyla yapısal ağı güçlendirmek için cama diğer metal oksitler eklenir. Kalsiyum oksit (CaO) bu etkiye sahiptir ve cama kireçtaşı veya tebeşir halinde, kalsiyum karbonat (CaCO_3) olarak eklenir. Hem kalsiyum karbonat hem de magnezyum karbonat (MgCO_3) içeren dolomit de eklenebilir. Daha düşük sıcaklıklarda kimyasal direnci iyileştirmek ve viskoziteyi artırmak için alüminyum oksit (Al_2O_3) eklenir. Genellikle nefelin siyenit ($3\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot 4\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{SiO}_2$), feldispat veya alümina halinde eklenir, ancak yüksek fırın cürufunda ve feldspatik kumda da bulunur.

Kurşun oksitler (PbO ve Pb_3O_4), kurşunlu kristal gibi ürünlerin berraklığını artırmak, camın sesini iyileştirmek ve refraktif endeksini artırmak için kullanılır. Kurşun okside alternatif olarak baryum oksit (baryum karbonattan elde edilir), çinko oksit veya potasyum oksit kullanılabilir, ancak bunlar kurşunlu kristal ile ilişkilendirilenlerden daha düşük seviyelerde yoğunluk ve berraklık sağlar. Çoğu durumda, kurşun oksidin diğer bileşenlerle değiştirilmesi el yapımı camın işlenebilirliğinde bir dezavantaj yaratır.

Boron trioksit (B_2O_3) kullanımı bazı ürünlerde, özellikle özel cam (borosilikat camlar) ve cam elyaflarda (cam yünü ve kesintisiz elyaflar) esastır. En önemli etkisi, camın genleşme katsayısını azaltmasıdır, ancak aynı zamanda elyafların viskozitesini ve likiditesini de değiştirerek elyaflaşmaya yardımcı olur ve su hücumuna karşı direnci artırır.

Aşağıda verilen Tablo 2.2’de, cama renk vermek için kullanılan bazı elementler gösterilmiştir. Renklendirici malzemeler asıl harmana veya fırın sonrasında kanala (renkli frit halinde) eklenebilir.

Tablo 2. 2: Silikat camlara renk vermek için kullanılan elementler

Element	İyon	Renk
Bakır	(Cu^{2+})	Açık mavi
Krom	(Cr^{3+})	Yeşil
	(Cr^{6+})	Sarı
Manganez	(Mn^{3+})	koyu mor
Demir	(Fe^{3+})	Sülfürlerle birlikte sarımsı kahverengi, bal rengi rengi
	(Fe^{2+})	Mavimsi yeşil
Kobalt	(Co^{2+})	Yoğun mavi, ancak borat camlarda pembe
	(Co^{3+})	Yeşil
Nikel	(Ni^{2+})	Cam ana yapısına bağlı olarak grimsi kahverengi, sarı, yeşil, mavi-mor
Vanadyum	(V^{3+})	Silikat camda yeşil; borat camda kahverengi
Titanyum	(Ti^{3+})	Koyu mor (indirgeyici koşullar altında erir).
Neodimyum	(Nd^{3+})	Kırmızımsı koyu mor
Selenyum	(Se^0)	Pembe veya bronz (cam türüne bağlı olarak ayrıca Se^{2+} , Se^{4+} ve Se^{6+})
Kadmiyum	(Cd^{2+})	Sarı, turuncu, kırmızı ve renk yoğunlaştırıcı
Praseodimyum	(Pr^{3+})	Açık yeşil

Florür içeren malzemeler (örn. CaF_2 flüspat), bazı ürünleri opak hale getirmek için kullanılır. Bu, camı dumanlı ve opak hale getiren kristallerin oluşumuyla sağlanır. Florür ayrıca, elyaflaşmaya yardımcı olmak ve lif kırılmasını en aza indirmek için yüzey gerilimini ve likidite özelliklerini optimize etmek amacıyla kesintisiz cam elyaf sektöründe de kullanılır.

Cam yapımında giderek önem kazanan bir hammadde, hem tesis içi hem de dışarıdan olmak üzere cam kırıklarıdır (kırık cam). Neredeyse bütün prosesler iç cam kırıklarını geri dönüştürür, ancak bazı prosesler için kalite kısıtlamaları, kullanımı ekonomik açıdan uygun olacak düzeyde kalite ve kıvamlılığa sahip, dışarıdan alınan cam kırığının tedarikini sağlamayı mümkün kılmayabilir. Kesintisiz cam elyafı üretiminin genelinde iç cam kırıkları geri dönüştürülmezken, cam ambalaj sektöründe bazen harmanın %80'inden fazlasında kırık kullanılmaktadır. Cam kırıkları, işlenmemiş hammaddelere göre daha az ergitme enerjisine ihtiyaç duyar; çoğu soda-kireç-silika camın harman formülasyonunda her 1 ton cam kırığı, yaklaşık 1,2 ton işlenmemiş malzeme yerine kullanılabilir.

Ergitme işlemine ve son ürünün özelliklerine uygun cam kırıklarının kalitesini garanti etmek için seramik, cam seramik, metal, organik madde vb. maddelerin kullanımından kaçınılmalı veya sınırlandırılmalıdır. Bazı kirleticilerin emisyonları, cam kırıklarının kullanımı ile doğrudan ilişkili olabilir.

Kırık kullanımı hakkında daha fazla bilgi için 4.8.3 kısmına bakın.

2.2.2 Ergitme süreci

[22, Schott 1996]

Ergitme süreci, kimyasal reaksiyonların ve fiziksel süreçlerin bir arada bulunduğu karmaşık bir süreçtir. Bu kısımda sürecin bazı önemli yönleri yalnızca kısa bir özet olarak sunulmaktadır. Ergitme, her biri yakından kontrol gerektiren birkaç aşamaya ayrılabilir.

Isıtma

Camı eritmek için ısı sağlamanın konvansiyonel ve en yaygın yolu, harman örtüsü veya harman yığınları üzerinde ve erimiş camın üzerinde fosil yakıt yakmaktır. Harman malzemesi sürekli olarak fırına beslenir ve daha sonra erimiş halde fırından çekilir. Camın eritilmesi ve rafinasyonu için gerekli sıcaklık, kesin formülasyona bağlı olmakla beraber 1300 ile 1550 °C arasındadır. Bu sıcaklıklarda ısı iletiminde, özellikle alevlerle 1650 °C'ye kadar ısıtılan fırın tavanından ve ayrıca alevlerin kendisinden kaynaklanan ışımsal iletim baskındır. Her fırın tasarımında, şekillendirme işlemine beslenen bitmiş camın kıvamlı homojenliğini sağlamak amacıyla, erimiş camda sıcaklık farkları oluşturmak ve erimiş cam içinde devridaim yapan doğal ısı taşınımı akışlarını indüklemek için ısı girişi düzenlenir ve kontrol edilir. Fırındaki eriyik cam kütlesi sabit tutulur ve ortalama bekletme süresi, ambalaj fırınları için 24 saat ve düz cam fırınları için 60 – 72 saat civarındadır.

Birincil ergitme

Harmandaki hammaddelerin düşük ısı iletkenliği nedeniyle ergitme işlemi başlangıçta oldukça yavaştır. Bu durum, çok sayıda kimyasal ve fiziksel sürecin gerçekleşmesi için zaman tanır. Malzemeler ısıdıkça nem buharlaşır, hammaddelerin bir kısmı ayrışır ve ham maddelerde hapsolmuş gazlar dışarı çıkar. İlk reaksiyonlar (dekarbonizasyon) yaklaşık 500 °C'de gerçekleşir. Hammaddeler 750°C ile 1200°C arasında erimeye başlar. Önce kum, ergitken maddelerin etkisi ile çözülmeye başlar. Kumdaki silika, soda külü oluşturmak üzere sodyum oksitle ve silikat oluşturmak üzere diğer Harmandaki hammaddelerle bir araya gelir. Aynı zamanda hidratların, karbonatların, nitratların ve sülfatların ayrışması yoluyla büyük miktarlarda gaz açığa çıkar; su, karbon dioksit, azot oksitler ve sülfür oksitler salınır. Cam eriyiği nihayet şeffaf hale gelir ve ergitme aşaması tamamlanır. Gazların kaybı ve doku içi boşlukların ortadan kalkması nedeniyle eriyiğin hacmi, işlenmemiş Harmandaki hammaddelerin hacminin yaklaşık % 35 – 50'si kadardır.

Afinasyon ve homojenleştirme

Genel olarak, cam eriyiği ürüne dönüştürülmeden önce tamamen homojen ve kabarcıksız olmalıdır. Tüm bileşenlerin tamamen çözünmesi ve eşit dağılımı, erimiş camdaki kabarcıkların ortadan kaldırılması çoğu cam ürünü için gereklidir.

Eriyikten kabarcıkların giderilmesi, birincil afinyasyon (kabarcık büyümesi, eriyikten kabarcık yükselmesi ve gazın sıyrılması) ve ikincil afinyasyondan (kontrollü soğutma sırasında eriyikte kabarcıkların çözülmesi) oluşan (yeniden) afinyasyon süreci olarak tanımlanır. Hammaddelerin ergitilmesinden veya füzyonundan hemen sonra, çözünmüş gazlar (hava, CO₂) ve daha küçük (tohumlar) veya daha büyük gaz kabarcıkları (fiskeler) içeren viskoz bir eriyik oluşacaktır. Çoğu homojen cam ürün için (düz cam, sofr gereçleri, kesintisiz cam elyafları, vitrin camları, ambalajlar, tüpler, vb.), gerekli cam kalitesini elde etmek amacıyla bu kabarcıkların tümü veya tümüne yakını ortadan kaldırılmalı veya çıkarılmalıdır. Gazların cam eriyiklerinden çıkarılması, erimiş camdan kabarcıkların, fiskelerin ve tohumların ortadan kaldırılmasıyla sınırlı değildir, aynı zamanda cam eriyiklerinden çözünmüş gazların sıyrılmasını da içerir. Eriyik camdan azot ve CO₂ gibi gazların etkin bir şekilde sıyrılması, aşağı akışta birincil afinyasyon prosesinde 'gaz çıkması' (eriyikte yeni kabarcıkların oluşması) ve fiske oluşum riskini azaltacaktır; örneğin eriyiğin ısıya dirençli malzemeyle etkileşime geçmesi durumunda. Artan kabarcık boyutu ve bunun sonucunda eriyik içindeki artan kabarcık yükselişi, bu kabarcıkların çıkarılmasını hızlandırarak, onları birincil afinyasyon sırasında eriyik cam yüzeyine getirir. Birincil afinyasyon sırasında gaz salınımı, afinyasyon gazlarının cam eriyiğindeki mevcut kabarcıklara dağılımını destekleyecektir. Bu şekilde kabarcıklar büyüyecek ve Stokes yükselme hızları artacaktır (kabarcık yükselme hızı kabarcık yarıçapının karesiyle doğru orantılıdır). Yükselme hızı, cam eriyik viskozitesinin değeri ile ters orantılıdır. Cam viskozitesi büyük ölçüde cam eriyiği sıcaklığıyla belirlenir ve sıcaklık düştükçe kendisi de düşer. Büyüyen kabarcıklar eriyikten ayrıca su buharı, CO₂ ve N₂ (sıyırma) gibi diğer çözünmüş gazları da alacaktır.

Bir cam eriyiğinin birincil afinyasyonunun mekanizması, gaz sıyırma (kabarcıkların gaz absorpsiyonu ile eriyikten çözünmüş gazların çıkarılması) ile birlikte kabarcık büyümesi ve eriyikte kabarcık yükselişinin artmasıyla kabarcıkların çıkarılmasını içerir. İkincil afinyasyon prosesi, erimiş camın kontrollü soğutulması sırasında, kalan kabarcıkların yeniden absorpsiyonu sonucunda kabarcıkların küçülmesi veya tamamen çözünmesiyle gerçekleşir.

Yüksek sıcaklıklardaki düşük viskozite ve afinyasyon için başlangıç sıcaklığının üzerinde afinyasyon maddelerinin ayrışması nedeniyle, birincil afinyasyon işlemi cam eriyik tankının en yüksek sıcaklık bölgelerinde gerçekleşir.

Birincil afinyasyon işlemi için gerekli olan afinyasyon gazlarının salınımı, sıcaklığa, harman ve eriyiğin afinyasyon maddesi içeriğine ve oksidasyon durumuna bağlıdır. Afinyasyon maddeleri hammadde harmanına eklenir ve genellikle erimiş camda çözülür. Yüksek sıcaklıklarda (harmanın eridiği sıcaklığın üzerinde) afinyasyon maddesinin bozunması ve ayrışma gazları (O₂, SO₂) oluşturmaları, veya eriyikten buharlaşması beklenir (mevcut kabarcıklara/tohumlara yayılan buharlar oluşturarak). Cam endüstrisinde uygulanan en çok kullanılan afinyasyon maddesi, bozunduğunda SO₂ ve O₂ gazı oluşturan sodyum sülfattır. Diğer afinyasyon maddeleri arasında oksijen gazı oluşturan arsenik ve antimon oksitleri veya NaCl buharları oluşturan sodyum klorür bulunur. Afinyasyon sırasında oksijen gazının açığa çıkabilmesi için eriyikte en oksitlenmiş halde arsenik ve antimon bulunması gerekir; bazı durumlarda, bunu sağlamak için harman bileşimine nitratların eklenmesi gerekir.

Oksidasyon durumu (redoks durumu), eriyik ve cam üründeki çok değerlikli iyonların değerlik durumunu belirleyecektir. Değerlik durumu, krom, demir, bakır ve kükürt gibi çok değerlikli iyonların, değerlik durumlarına bağlı olarak cama belirli bir renk verebilmesi yönünden, yalnızca afinyasyon işlemi için değil aynı zamanda camın rengini belirlemek için de önemlidir. Cam eriyiğinin redoks durumu, nitratlar ve sülfatlar (oksitleyici maddeler) veya karbon (bir indirgeyici madde) vasıtasıyla değiştirilebilir.

Afinasyon maddesinin (kimyasal afinasyon) seçimi, üretilcek camın tipine bağlıdır. Bazı camlar sülfat içermeyebilir (vitrin camları) veya afinasyon gazlarını yalnızca çok düşük (elle üflenmiş camlar) veya çok yüksek sıcaklıklarda (viskozite seviyesinin yeterince düşük olduğu, tipik olarak $<50 \text{ Pa} \cdot \text{s}$) serbest bırakan afinasyon maddelerine ihtiyaç duyabilir. Ayrıca, gerekli rengi elde etmek için camın ergitilmesi gereken oksidasyon durumu, afinasyon maddelerinin seçiminde belirleyicidir; bazı afinasyon maddeleri sadece çok yüksek oksitlenme koşullarında etkilidir. Bu nedenle, afinasyon ajanlarının seçimi, eriyikteki sıcaklıklara, camın redoks durumuna ve çevresel hususlara bağlıdır. Sülfat afinasyonu, harman redoks durumuna bağlı olarak (örneğin harman formülasyonunda sülfat ve karbonun varlığına ve düzeyine bağlı olarak) çoğu soda-kireç-silika cam eriyiklerinde tipik olarak $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerindeki sıcaklıklarda gerçekleşir. Fırının atmosferik durumunu değiştirirken, örneğin havadan oksijenle ateşlemeye dönüşümden sonra, harman bileşiminin ayarlanması çoğu zaman gereklidir.

Sodyum sülfat, özellikle normal düz cam, cam ambalaların büyük çoğunluğu, soda-kireç-silika sofraya gereci camı, kesintisiz cam elyaf (E-glass) ve soda-kireç-silika aydınlatma camı türleri için en sık kullanılan afinasyon maddesidir. Sodyum sülfat, cama emilebilen veya fırın atık gazlarıyla beraber salınabilen sodyum oksit (camın içine dâhil edilir) ile gaz halindeki kükürt oksitleri ve oksijen gazına ayrışır.

Tankın altında yer alan ekipman yoluyla buhar, oksijen, azot veya daha yaygın olarak hava kabarcıkları verilmesiyle de erimiş camın homojenizasyonu kolaylaştırılabilir. Bu, camın sirkülasyonunu ve karışmasını artırır, ısı transferini iyileştirir. Optik cam üretimi gibi bazı proseslerde gerekli olan yüksek düzeyde homojenliği elde etmek için ergitme tankında, çalışma kısmında veya besleyicilerde karıştırma mekanizmaları kullanılabilir. Küçük fırınlarda (özellikle özel camda) kullanılan diğer bir teknik, camın sıcaklığını artırarak viskozitesini azaltma yoluyla gaz kabarcıklarının yüzeye daha kolay yükselmesini sağlayan planyalamadır.

Cam fırınlarında karşılaşılan maksimum tavan sıcaklıkları: cam ambalaj $1600 \text{ }^\circ\text{C}$, düz cam: $1620 \text{ }^\circ\text{C}$, özel cam: $1650 \text{ }^\circ\text{C}$, kesintisiz cam elyaf: $1650 \text{ }^\circ\text{C}$ ve cam yünü: yaklaşık $1400 \text{ }^\circ\text{C}$ (ancak daha yüksek olabilir) [103, Beerkens, Cam afinasyonu. Boron 2008].

Camın redoks durumu

Yukarıda hâlihazırda bahsedildiği gibi, camın redoks durumu, cam eriyiğinin afinasyon aşaması, camın rengi ve kızılötesi absorpsiyon özellikleri (ısı absorpsiyonu) üzerinde etki sahibi olan, cam ergitme işleminin önemli bir teknolojik yönüdür.

Camın redoks durumu genellikle eriyiğin oksijen denge basıncını (p_{O_2}) (çözünmüş oksijen ile dengede kısmi basınç) belirleyerek ölçülür. Eriyik içindeki çözünmüş oksijen miktarı esas olarak harman formülasyonunda oksitleyici (oksijen sağlayan) veya indirgeyici maddelerin (oksijenle reaksiyona giren ve onu emen) varlığına ve miktarına bağlıdır. Oksitleyici maddeler arasında en önemlileri sülfatlar, nitratlar ve en oksitlenmiş hallerinde çok değerlikli iyonlardır (örn. Fe_2O_3 , Sb_2O_5 , As_2O_5 , SnO_2 , CeO_2). Tipik indirgeyici maddeler, organik bileşikler (genel olarak dışarıdan gelen cam cam kırıklarında bulunur), karbon, sülfürler ve çok değerlikli iyonların indirgenmiş formlarıdır.

Eriyiğin redoks durumundaki bir fark, camda kayda değer renk değişikliğine neden olabilir. Örneğin, demirüçlü demirin (Fe^{3+}) mevcudiyeti sarımsı-kahverengi bir renk üretirken, demirikili demirin (Fe^{2+}) mevcudiyeti cama mavimsi-yeşil bir renk verecektir.

İnyük durumu ve eriyik içinde bir takım çok değerlikli iyonların mevcudiyeti, cam tarafından emilen ısı miktarı üzerinde ve bunun sonucunda, erime ve şekillendirme işlemi üzerinde bir etkiye sahip olabilir.

Çeşitli cam türlerinin üretimi için oksitleyici koşullar gereklidir; bu nedenle, harman formülasyonunda nitratlar veya ek sülfat miktarları gibi ek oksitleyicilere ihtiyaç vardır.

İndirgenmiş camlar (bal renkli cam) veya organik kirleticiler (gıda ve/veya içecek artıkları, kağıt, plastikler) içeren harmanda dışarıdan gelen geri dönüşüm cam kırıkları kullanıldığında, çoğu zaman camın rengini korumak veya düzeltmek, ve harman formülasyonuna gerekli afinasyon özelliklerini vermek için ek oksitleyici miktarlarına ihtiyaç duyulur. Bal renkli cam ve özel yeşil renkler, indirgeme koşulları gerektirir. Bu durumlarda, fırındaki atmosferin fazla oksitlenmesi cam rengini olumsuz etkileyebilir.

Camın redoks durumunda değişikliklere neden olan ergitertitme koşulları, çoğu zaman, ergitertitme fırınından kaynaklanan buharlaşma etkilerinde önemli bir yükselişe, bunun sonucunda katı ve gaz emisyonlarının potansiyel artışına sebep olur. Bu fenomen, kükürt oksit emisyonları için özellikle belirgin olabilir. İndirgen yalazlar tarafından cam eriyik yüzeyinin indirgenmesi, alkalinin buharlaşmasını (üst yapı malzemelerinin artan korozyonu) artırabilir ve baca gazlarındaki toz formülasyonu seviyelerini artırabilir.

ŞartlandırmaŞartlandırma

Daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen şartlandırma aşaması, birincil ergitertitme ve afinasyon aşamalarını takip eder. Bu işlem sırasında, kalan tüm çözünür kabarcıklar eriyik içine yeniden absorbe olur. Aynı zamanda eriyiğin sıcaklığı, yavaşça 900 °C ile 1350 °C arasındaki bir çalışma sıcaklığına iner.

Harmanın ergitilmesinde, bu adımlar sırayla gerçekleşir, ancak sürekli fırınlarda ergitertitme aşamaları, tankın farklı yerlerinde aynı anda gerçekleşir. Harman, tankın bir ucundan beslenir ve tanktaki farklı bölgelerden, birincil ergitertitme, afinasyon ve şartlandırmanın meydana geldiği ön hazne boyunca akar. Sürekli bir fırında arıtma işlemi, ergitertitme aşamalarının en hassasıdır.

Cam, tank boyunca harman besleyiciden (doghouse girişi) işleneceği tipik çalışma/şekillendirme sıcaklığına geldiği boğaza ve besleyicilere veya kanallara doğru düz bir çizgi halinde akmaz. Devridaim akışları ve durağan eriyikler (ölü su alanları) dâhil olmak üzere doğal ısı taşınımı ve basınçlı ısı taşınımı akışlarına bağlı olarak, tanktaki farklı olası yörüngeleri izlemek üzere ayrılırlar. Harman yığını veya soğuk hammadde karışımı yalnızca yüzeyde değil, aynı zamanda erimiş cam banyosu ile alttan da ergitilir. Harman malzemesinin alt tabakasında nispeten soğuk ve kabarcıklı cam oluşur ve tankın dibine çöker. Uygun konveksiyon akımları bu malzemeyi yüzeye getirmelidir, çünkü tank fırınlarında afinasyon temel olarak eriyik yüzeyinde gerçekleşir. Burada kabarcıkların yok edilmesi için yalnızca kısa bir mesafe yükselmesi yeterlidir. Termal akımlar çok hızlı ise, camı şartlandırma bölgesine çok erken getirerek afinasyonu engellerler. İdeal cam akış yolları oluşturmak için tankın içerisine yönlendirici duvarlar veya savaklar yapılabilir.

2.3 ErgitErgitme teknikleri

[19, CPIV 1998]

Bu kısımda, cam sanayiinde kullanılan en önemli ergitertitme teknikleri özetlenmektedir. Taş yünü ve fritler sektörlerinde farklı teknikler kullanılmaktadır ve bu teknikler sektöre özel bölümlerde her bir sektör için ayrıntılı olarak açıklanmıştır. ErgitErgitme tekniği seçimi birçok faktöre, ancak özellikle gerekli kapasite, cam formülasyonu, yakıt fiyatları, mevcut altyapı ve çevresel performansa bağlı olacaktır. Örneğin, genel bir fikir vermesi açısından (doğal olarak buna istisnalar olacaktır) normalde aşağıdaki kriterler uygulanır:

- Büyük kapasiteli tesislerde (>500 t/gün) neredeyse her zaman yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlar kullanılır.
- Orta kapasiteli tesislerde (100 ila 500 t/gün) genellikle rejeneratif arkadan ateşlemeli fırınlar tercih edilse de; şartlar gerektirdikçe yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlar, reküperatif ergitici üniteleri ve bazı koşullarda oksi-fuel veya elektrikli ergitici de kullanılabilir.
- Küçük kapasiteli tesislerde (25 ila 100 t/gün), genellikle reküperatif ergitme fırınları, rejeneratif arkadan ateşlemeli fırınlar, elektrikli fırınlar ve oksi-fuel fırınlar kullanılır.

Tablo 2.3'te, AB'de bulunan farklı fırın tipleri ile bunların değerleri ve kapasiteleri verilmiştir.

Tablo 2. 3: 2005 yılında AB fırın tiplerinin tahmini (günlük >20 t kurulumlar için)

Fırın tipi	Birim sayısı	(%) Toplam	Ergitme kapasitesi (t/yıl)	Ortalama ergitme kapasitesi (t/gün)
Arkadan ateşlemeli	225	35,8	16100000	196
Yandan ateşlemeli	145	23,1	20300000	384
Elektrikli	43	6,85	800000	51
Oksijen	35	5,6	1600000	125
Rekuperatif	120	19,1	3300000	75
Diğer tipler	60	9,55	900000	41
Total	628	100	43000000	188

Kaynak: [130, CPIV 2008]

Cam fırınları, genellikle büyük miktarlardaki camı tipik olarak 10 – 12 yıllık, bazı durumlarda 20 yıla varan veya daha uzun bir kullanım süresi boyunca, ergitecek şekilde tasarlanmıştır ve kapasiteleri günlük 20 tondan 1 000 tonun üzerine kadar çıkmaktadır. Cam, uygun refrakter malzeme bloklarından yapılmış ve genellikle kemerlikemeri bir tavan ile kapatılmış, genel formu dikdörtgen şeklinde olan bir tank içinde yer almaktadır. Elektrikli fırınlar, düz tavanlı, daha kare şekilli olma eğilimindedir ve bir tarafı harmana erişim için açıktır. Refrakter bloklar, bir dış çelik çerçeve ile yerinde tutulur. Kullanılmakta olan birçok fırın tasarımı vardır ve bunlar genellikle ısıtma yöntemi, kullanılan yanma havası ön ısıtma sistemi ve brülör konumu bakımından birbirinden ayrılır.

Cam yapımı, yoğun enerji gerektiren bir faaliyettir ve enerji kaynağı seçimi, ısıtma tekniği ve ısı geri kazanım yöntemi fırın tasarımında büyük öneme sahiptir. Bu seçimler aynı zamanda ergitme işleminin çevresel performansını ve enerji verimliliğini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Cam yapımında kullanılan üç temel enerji kaynağı doğalgaz, fuel oil ve elektriktir. 20. yüzyılın ilk yarısında birçok cam üreticisi, akkor sıcaklıklarda hava ve suyun kömür ile tepkimeye girmesiyle oluşan üreteç gazı kullanmıştır.

Cam sanayiinde ekonomik uygunluğu, yüksek saflığı, kontrol kolaylığı ve depolama tesislerine ihtiyaç duyulmaması nedeniyle doğalgaz kullanımı giderek artmaktadır. Fuel-oil ile kıyaslandığında, kükürt dioksit ve CO₂ emisyonları daha düşüktür, ancak genellikle NO_x emisyonları daha yüksektir.

Sanayide genel olarak gaz alevlerinden daha parlak olan petrol alevlerinin eriyiğe daha iyi ısı transferi sağladığı görüşü kabul görmektedir. Ayrıca, gaz ile fuel-oil kullanımı karşılaştırıldığında, ilgili gazların farklı ısı kapasiteleri, baca gazı yoluyla enerji yitiminde farklılık yaratır. Öte yandan, ergitme işlemi için kullanılan çoğu fuel-oil türü, brülör memelerinden transfer, taşıma ve enjeksiyon (atomizasyon) için yeterince düşük bir viskozite seviyesi elde etmek için 110 – 120 °C'ye kadar ön ısıtmaya ihtiyaç duyar. Birçok büyük fırın hem doğal gaz hem de fuel oil ile çalışacak şekilde donatılmıştır. Yakıt değişimi, yalnızca basit bir brülör değişikliğini gerektirir. Çoğu zaman, gaz tedarik sözleşmelerinde, azami talep esnasında kesintilere izin verecek şekilde anlaşma sağlanır; bu durum yakıt değiştirme imkanını gerektirir. Gaz ve fuel oil arasında periyodik olarak değişim yapılmasının temel nedeni, yakıtların cari fiyatlarıdır. Isı girdisinin daha iyi kontrolünü sağlamak amacıyla, ağırlıklı olarak gazla çalışan fırınların bir veya iki boşlukta petrol yaktığı görülebilir. Yakıt ve gaz karışımının kullanımı da giderek daha yaygın hale gelmektedir; böyle durumlarda uygun bir tekli brülör kullanılır.

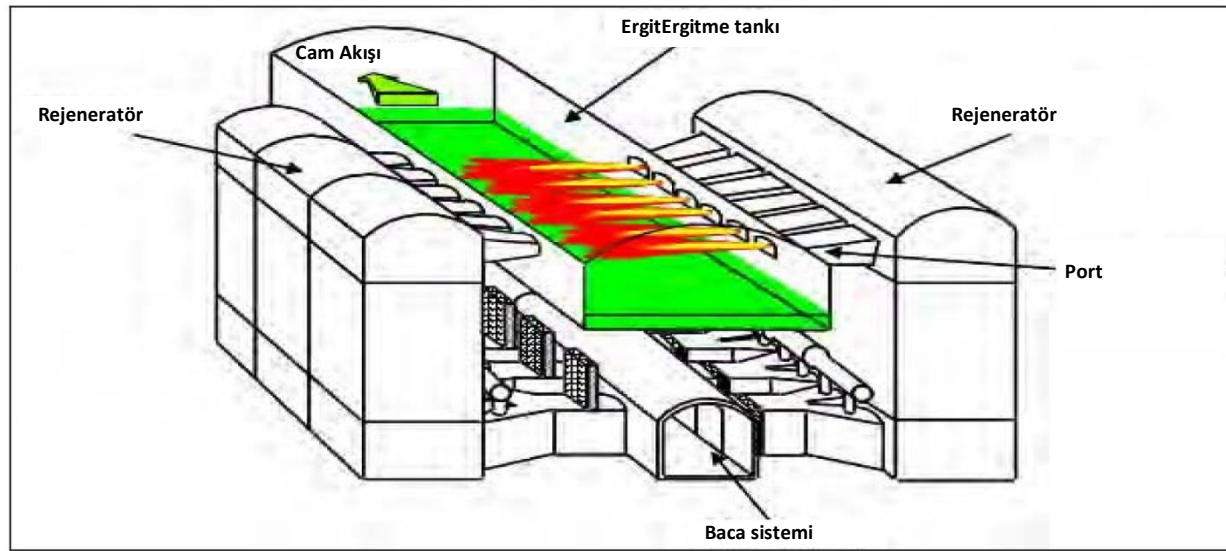
Cam yapımı için üçüncü yaygın enerji kaynağı elektriktir. Elektrik, enerji kaynağı olarak tek başına veya fosil yakıtlarla birlikte kullanılabilir ve bu konu belgenin ilgili kısımlarında daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Elektrik kullanarak enerji üç farklı şekilde sağlanabilir. Bunlar; eriyik haldeki camdan akımın geçirildiği dirençli ısıtma, ısının çevreleyen manyetik alandaki değişikliklerle indüklendiği indüksiyonla ısıtma; ve ısıtıcı elemanların kullanımıdır. Bunların arasından cam sanayiinde ticari uygulama bulmuş olan tek yöntem dirençli ısıtmadır. Bu belgede de yalnızca dirençli ısıtma ele alınmıştır.

2.3.1 Rejeneratif fırınlar

[19, CPIV 1998] [2, UKDoE 1991]

Rejeneratif terimi, cam yapımında kullanılan bir ısı geri kazanım sistemi biçimini ifade eder. Fosit yakıt ateşleyen brülörler genellikle yanma havası/atık gaz çıkışlarının içine veya altına yerleştirilir. Atık gazlardaki ısı, yanma olayından önce havanın ön ısıtması için kullanılır. Bu ön ısıtma, atık gazların, ısıyı absorbe eden refrakter malzeme içeren bir odadan geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Fırın, tek seferde iki set brülörden yalnızca birini ateşler. Önceden belirlenmiş, genellikle 20 dakikalık bir sürenin ardından ateşleme tersine çevrilir ve yanma havası önceden atık gazlarla ısıtılmış olan odadan geçirilir. Rejeneratif fırında iki rejeneratör odası bulunur; bunlardan biri yanma işleminden çıkan atık gazlar ile ısıtılırken, diğeri gelen yanma havasının ön ısıtmasını gerçekleştirir. Normalde 1200 – 1350 °C aralığında olan tipik hava ön ısıtma sıcaklıkları (boşluk sayısına bağlı), bazen 1400 °C'ye varabilir.

Şekil 2.1 yandan ateşlemeli bir rejeneratif fırının şematik bir temsili göstermektedir.

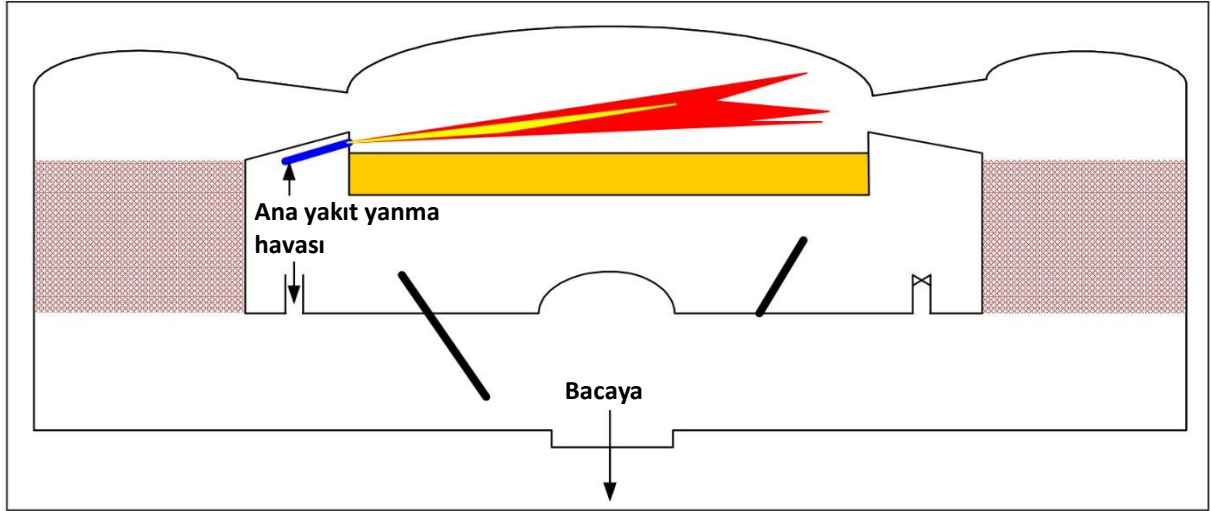


Şekil 2. 1: Yandan ateşlemeli rejeneratif fırın

Yandan ateşlemeli rejeneratif fırında, yanma ağızları ve brülörler fırının yanları boyunca; fırına port boyunları ile bağlı olan rejeneratör odaları ise fırının her iki tarafında konumlandırılır. Alev doğrudan eriyik haldeki malzemenin üstünden, karşılıklı boşluklara geçer. Kullanılan boşlukların sayısı (en fazla sekiz), fırının boyutu, kapasitesi ve tasarımına bağlıdır. Bazı daha büyük fırınlar, her port için bölünmüş rejeneratör odalarına sahip olabilir.

Çok sayıda brülörün etkin kullanımını sağlayan bu tip tasarımlar, özellikle daha büyük tesisler için uygundur ve cam eriyiği için gerekli konveksiyon akımlarını harekete geçirmek için ihtiyaç duyulan sıcaklık farkının fırın boyunca etkili olmasını sağlarlar.

Şekil 2.2'de bir rejeneratif fırının kesit görünümü sunulmaktadır.

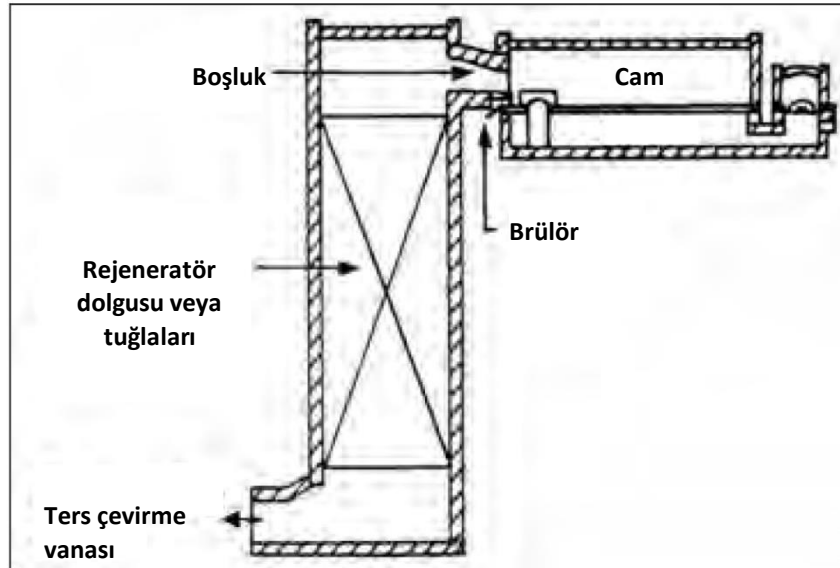


Şekil 2.2: Bir rejeneratif fırının kesit görünümü

Arkadan ateşlemeli rejeneratif fırınlarda da aynı çalışma prensipleri söz konusudur; fakat ek olarak, fırının bir ucunda, her birinde birer kapı bulunan iki rejeneratif oda yer alır. Alev yolu, ikinci porttan bitişiğindeki rejeneratör odasına dönerek bir U şekli oluşturur. Bu düzenleme, yandan ateşlemeli tasarıma göre daha maliyet etkin bir rejeneratör sistemi sağlar; ancak fırın sıcaklık profilini ayarlama daha az esnekliğe sahiptir. Bu nedenle daha büyük fırınlar için daha az tercih edilir.

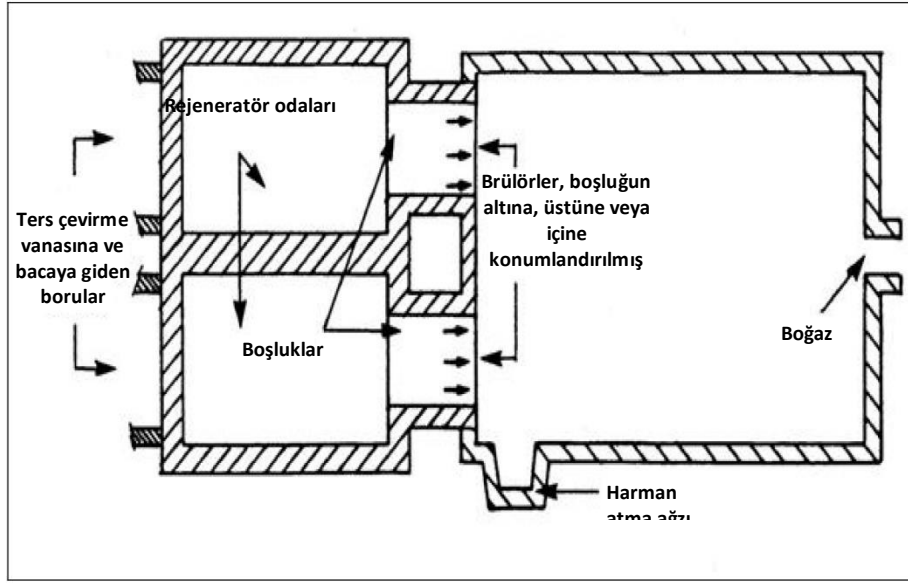
Genel olarak, arkadan ateşlemeli fırınların yandan ateşlemeli fırınlardan daha enerji verimli olmasının iki nedeni vardır: ilk olarak, portların sayısı daha düşüktür, bu da oldukça yüksek olabilen, boşluklardan enerji kaybı miktarını azaltır; ikinci olarak, arkadan ateşlemeli fırında yanma gazlarının kalma süresi yandan ateşlemeli bir fırında olduğundan daha yüksektir, bu da alevlerin enerjiyi harman örtüsüne ve cam eriyiğine yayması için daha fazla zaman sağlar.

Şekil 2.3, tek geçişli, arkadan ateşlemeli bir rejeneratif fırının şematik bir temsili göstermektedir.



Şekil 2.3: Tek geçişli arkadan ateşlemeli rejeneratif fırın

Şekil 2.4'te, arkadan ateşlemeli bir rejeneratif fırının bir planı verilmektedir.



Şekil 2. 4: Arkadan ateşlemeli rejeneratif fırının planı

Çoğu konvansiyonel cam ambalaj fabrikasında ya arkadan ateşlemeli ya da yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlar mevcuttur ve tüm yüzdürme cam fırınları yandan ateşlemeli rejeneratif tasarıma sahiptir. Normalde 1300 – 1350 °C olan ön ısıtma sıcaklıkları daha yüksek değerlerde 1400 °C'ye kadar vararak çok yüksek termal verimlilik sağlayabilir.

2.3.2 Konvansiyonel reküperatif fırın

[19, CPIV 1998]

Reküperatör, genellikle daha küçük fırınlar için yaygın olarak kullanılan bir diğer ısı geri kazanım sistemidir. Bu tür bir düzenlemede, gelen soğuk havanın ön ısıtması, metal (veya istisnai olarak, seramik) bir ısı eşanjöründen geçen sürekli bir atık gaz akışı ile dolaylı olarak yapılır. Hava ön ısıtma sıcaklıkları, metalik geri reküperatörler için yaklaşık 800°C ile sınırlıdır ve bu sistem ile geri kazanılan ısı bu nedenle rejeneratif fırından daha düşüktür. Daha düşük olan doğrudan enerji verimliliği, hammaddelerin ön ısıtması veya buhar üretimi için atık gazlar üzerinde ilave ısı geri kazanım sistemleri ile telafi edilebilir. Bununla birlikte, cam ambalaj sektöründe kullanılan konvansiyonel rejeneratif fırınların günlük ergitme kapasitesi tipik olarak 3,2 ton/m² iken, reküperatif fırınların spesifik ergitme kapasitesinin günlük 3.2 ton/m² olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu kapasite farkı, elektrik desteği ile kısmen telafi edilebilir.

Önceden bütün ergitici üniteli (veya doğrudan ateşlemeli) fırınlar reküperatör donanımlı olmamakla birlikte, artık hepsi reküperatörlüdür ve ergitici ünitesi terimi konvansiyonel reküperatif fırınla eşanlamlı hale gelmiştir. Brülörler, fırının her iki yanında bulunur. Üretilen konvektif akış modellerinin, gazlar çıkış portu yoluyla yanma odasından çıkmadan önce, sıcak yanma gazlarını nispeten soğuk harman örtüsünün üzerine getirmesi amaçlanmaktadır. Bu, harmana ve cam eriyiğine maksimum ısı transferini sağlayacaktır.

Bu tip fırınlar, genellikle en düşük başlangıç sermayesi harcamasına karşılık en yüksek işletim esnekliğinin gerekli olduğu, özellikle işletme boyutunun rejeneratör kullanımının ekonomik yönden uygunluğunu sağlamada yetersiz kaldığı durumlarda kullanılır. Reküperatif fırınlar düşük kapasiteli tesisler için daha uygundur, ancak daha yüksek kapasiteli fırınlarla (günde 400 tona kadar) karşılaşmak da mümkündür.

LoNO_x® ve Flex® ergitici gibi özel tasarım fırınlar da 4.4.2.3 kısmında daha iyi açıklanan çeşitli ek özelliklere sahip reküperatif tip fırınlardır.

2.3.3 Oksi-fuel ergitme

Bu teknikte yanma havası yerine oksijen (>%90 saflıkta) kullanılır. Yanma ortamındaki azotun büyük ölçüde ortadan kaldırılması, neredeyse tamamen karbondioksit ve su buharından oluşan atık gaz hacmini yaklaşık üçte iki oranında azaltır. Dolayısıyla, atmosferdeki azotu alevlerin sıcaklığına erişene kadar ısıtmak gerekmediğinden, enerji tasarrufu mümkündür. Yanma atmosferinde bulunan azot yalnızca; oksijende veya yakıtta kalan azot, nitrat ayrışmasıyla ortaya çıkan azot ve herhangi bir parazit havadan gelen azot olduğundan, termal NO_x oluşumu büyük ölçüde azaltılır.

Genel olarak oksi-fuel fırınlar ergitici ünitelerle aynı temel tasarıma sahip olup, yanlarında birden çok brülör ve bir adet atık gaz çıkış portu barındırırlar. Bununla birlikte, oksijen yanması için tasarlanmış fırınlar, brülörlere beslenecek oksijenin ön ısıtması için ısı geri kazanım sistemlerini kullanmamaktadır.

Oksi-fuel yakma teknolojisi, cam sanayiinin bazı sektörleri için (örneğin kesintisiz cam elyafı, bazı özel cam türleri) kabul edilmiş bir uygulama olmasına rağmen, yüksek finansal risk potansiyeli nedeniyle diğer sektörler tarafından hala gelişmekte olan bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, kayda değer geliştirme çalışmaları yapılmakta ve tesislerin sayısı arttıkça teknik daha geniş kabul görmektedir. Bu konu 4.4.2.5 kısmında daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

2.3.4 Elektrikli ergitme

[19, CPIV 1998] [9, IPC Kılavuz S2 3.03 1996] [2, UKDoE 1991] [71, VDI 3469-5 2007]

Bir elektrikli fırın, elektrotların fırının yanından, üstünden veya daha sıklıkla altından sokulduğu bir çelik çerçeve tarafından desteklenen refrakter astarlı bir kutudan oluşur. Ergitmede kullanılacak enerji, eriyik camdan akım geçirme esnasında, dirençli ısıtma ile sağlanır. Bununla birlikte, fırın her çalıştırıldığında başlangıçta fosil yakıtların kullanılması gereklidir. Fırın sürekli çalışır ve 2 ile 7 yıl arasında kullanım ömrüne sahiptir. Erimiş camın tepesi, aşağıdan yukarıya doğru kademeli olarak eriyen bir harman malzeme tabakası ile kaplandığından, soğuk başlıklı ergitici terimi kullanılır. Taze harman malzemesi, çoğu zaman tüm yüzey boyunca hareket eden bir konveyör sistemi ile fırının tepesinden eklenir. Elektrikli fırınların çoğunda torbalı filtre sistemleri bulunur ve toplanan malzeme ergiticiye geri dönüştürülür.

Bu teknik genellikle küçük fırınlarda, özellikle özel camlar için uygulanır. Bunun başlıca nedeni, fosil yakıtla çalışan fırınların termal verimliliğinin fırın boyutuyla birlikte azalması ve küçük fırınlarda ton eriyik başına ısı kayıplarının oldukça yüksek olabilmesidir. Karşılaştırma yapıldığında, elektrikli fırınlarda ısı kayıpları çok daha düşüktür ve küçük fırınlar için, elektrikli ve fosil yakıtlı ısıtma arasındaki ergitergitme maliyetlerindeki fark, daha büyük fırınlara göre azdır. Küçük fırınlar için elektrikli ergitergitmenin diğer avantajları arasında daha düşük yenileme maliyetleri, nispeten daha kolay olan kullanım ve doğrudan emisyonlar bakımından daha iyi çevresel performans yer alır. Ancak dolaylı emisyonları içermeyen bir çevresel ve ekonomik değerlendirme tamamlanmış olarak nitelendirilemez. Elektrikli fırınların ekonomik uygulanabilirliğini sağlamak için bir boyut üst sınırı mevcuttur ve bu uygulanabilirlik, elektriğin fosil yakıtlara kıyasla maliyeti ile yakından ilgilidir. Elektrikli fırınlar genellikle bir metrekairelik fırın alanı başına daha yüksek erime hızlarına ulaşabilir ve elektrikli fırınların termal verimliliği (elektrik üretmek için gerekli olan birincil enerji değil, fırına verilen enerji bazında) fosil yakıtla çalışan fırınlardan iki ila üç kat daha yüksektir.

Ancak bu, daha büyük fırınların yüksek elektrik maliyetlerini telafi etmek için genellikle yeterli değildir. Elektrikli ergitergitmede yanmanın olmaması, atık gaz hacimlerinin son derece düşük olduğu anlamına gelir, dolayısıyla partikül taşınması çok azdır ve herhangi bir ikincil önlemler ekipmanının boyutu küçüktür. Harmanın uçucu bileşenlerinin emisyonları, azaltılmış gaz akışı ve gaz emisyonlarının harman örtüsünde soğurulması ve reaksiyonu nedeniyle konvansiyonel fırınlardan önemli ölçüde daha düşüktür. Karbonlu Harmandaki hammaddelerden kaynaklanan karbondioksit gazı, ana gaz emisyonlarıdır.

Bununla birlikte, genele bakıldığında, elektrikli ergitergitmenin kullanımıyla ilişkilendirilen çevresel faydalar, elektrik üretim tesisinde ortaya çıkan emisyonlar ve elektrik üretim ve dağıtım verimliliği de göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

Elektrikle ergitergitmenin bir komplikasyonu, harmanda sodyum nitrat veya potasyum nitrat kullanılmasıdır. Cam sanayiindeki genel görüş, soğuk başlıklı elektrikli fırınlarda kararlı, güvenli ve verimli bir üretim süreci için gerekli oksitleme koşullarının sağlanmasında nitratin gerekli olduğu yönündedir. Nitrata ilgili sorun, fırında parçalanarak azot oksit salınımına neden olmasıdır.

Bu, elektrikli ergitergitme ile üretilen tüm camlar için geçerli değildir. Örnek olarak, yüksek sıcaklık yalıtımlı cam yünleri (ASW/RCF ve AES) için harman formülasyonu nitrat kullanımını gerektirmez.

2.3.5 Kombine fosil yakıt ve elektrikli ergitergitme

[19, CPIV 1998] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996]

Bu tekniğin kullanılmasında iki temel yaklaşım vardır; bunlar, elektrikle desteklenen fosil yakıtlı ateşleme veya fosil yakıtla desteklenen elektrikli ısıtmadır. Doğal olarak her tür ısı girdisinin oranı tekniklere göre değişecektir.

Elektrikli destekleme, bir ergitergitme fırınındaki cam eriyiğine, yan duvarlara yerleştirilmiş elektrotlarla (yatay elektrotlar) veya tankın alt kısmından (dikey elektrotlar) elektrik akımı vererek lokal olarak fazladan ısı ekleme yöntemidir. En sık olarak çubuk şekilli elektrotlar kullanılmakla birlikte cam sanayiinde elektrot plakaları da uygulanır. Teknik, cam sanayiinde fosil yakıtla çalışan fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel olarak, talepteki periyodik dalgalanmaları karşılamak üzere fosil yakıtla çalışan bir fırının verimini artırırken, daha büyük bir fırını çalıştırmanın sabit maliyetlerinden kaçınmak amacıyla kullanılır. Teknik, fırın çalışırken kurulabilir ve genellikle çalışma ömrünün sonuna yaklaşırken fırının ergitergitme hızını desteklemek veya mevcut bir fırının kapasitesini artırmak için kullanılır.

Elektrikle destekleme, belirli bir ergitergitme hızı için yakma yerine elektrikli ısıtma kullanılarak fırının doğrudan emisyonlarını azaltmak amacıyla kullanılabilir. Daha yüksek rakamlara ulaşmak mümkün olmakla birlikte, böyle bir durumda genellikle toplam enerji girişinin %5 ila 20'si elektrik desteği ile sağlanacaktır. Bununla birlikte, ilişkili işletim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, temel seviyede üretim için uzun vadeli bir seçenek olarak yüksek seviyede elektrik desteği kullanılmamaktadır. Yeşil ve bal rengi camdaki zayıf ısıma ısı transferi nedeniyle, renkli camlarda sıklıkla değişen seviyelerde elektrik desteği kullanılır. Elektrikli destekleme durumunda ise elektrotlar özellikle tank içindeki erimiş camın alt katmanlarında ekstra ısı sağlar. Daha nadir uygulanan bir teknik ise, esasen elektrikle ısıtılan bir fırında destek yakıtı olarak gaz veya petrol kullanılmasıdır. Bu yöntemde, malzemelere ek ısı vermek ve erimeye yardımcı olmak için alevler harman malzemesinin yüzeyi üzerinde ateşlenir. Bu teknik bazen üst yakım olarak adlandırılır ve genellikle % 100 elektrikli ergitergitmede karşılaşılan bazı işletim zorluklarının üstesinden gelmek için kullanılır.

2.3.6 Kesintili harman ergitme

[22, Schott 1996]

Özellikle camın formülasyonunun düzenli olarak değiştirildiği, daha az miktarda camın gerekli olduğu yerlerde sürekli fırın çalıştırmak ekonomik açıdan uygun olmayabilir. Bu durumlarda, özel hammadde harmanlarının ergitilmesi için potalı ocaklar veya günlük tanklar kullanılır. Bu tür cam proseslerinin çoğu, ergitergitme kapasiteleri muhtemelen günlük 20 tonun altında olacağından Direktife tabi olmayacaktır. Bununla birlikte, özellikle aynı tesiste birden fazla işlemin gerçekleştirildiği durumlarda, cam ev eşyaları ve özel cam sektörlerinde bu seviyenin üzerindeki kapasitelerin olduğu bazı örnekler mevcuttur.

Pota ocağının iç duvarları genellikle refrakter tuğladan, kemerlikemerli tavanı silika tuğladan ve dış duvarları yalıtım tuğlasından yapılır. Pota ocağı, temelde yanma havasını önceden ısıtmak için bir alt bölüm (rejeneratif veya reküperatif bir sistem) ile potayı tutan ve ergitergitme odası olarak iş gören bir üst bölümden oluşur. Üst kısımda, farklı cam türlerinin ergitilebildiği altı ila on iki adet refrakter kilden yapılmış pota bulunur.

Açık ve kapalı olmak üzere iki çeşit pota vardır. Açık potalarda üst kısım bulunmaz ve cam, fırın atmosferine maruz kalır. Kapalı potalar kapalı haldedir ve tek açıklıkları toplama deliğidir. Açık potada sıcaklık, fırın ateşlemesi ayarlanarak kontrol edilir; kapalı potalarda ise ateşleme sabittir ve sıcaklık, toplama deliğini açarak veya kapatılarak kontrol edilir. Her bir potanın kapasitesi genellikle 100 ila 500 kg aralığındadır ve sürekli çalışma koşulları altında 2 ila 3 ay kullanım ömrü vardır.

Fırın her gün 24 saat ısıtılır ancak üretim döngüsünün aşamasına göre sıcaklık (kapalı pota için sadece cam sıcaklığı) değiştirilir. Genel olarak, harman öğleden sonraları potalara yüklenir ve akşamları ergitilir; eriyiği rafine etmek için sıcaklık gece boyunca artırılır, böylece cam ertesi sabah işlenebilir. ErgitErgitme sırasında sıcaklık cam tipine bağlı olarak 1300 °C ile 1600 °C arasına kadar çıkar ve camın alınması ve işlenmesi sırasında fırın sıcaklığı 900 °C ile 1200 °C arasındadır.

Günlük tanklar ise, daha büyük kapasitelere (günlük 10 ton civarı) sahip olacak şekilde pota ocaklarından geliştirilmiştir. Yapısal olarak daha çok konvansiyonel fırınlarda olduğu gibi dörtgene benzetmekle beraber, her gün harmanla yeniden doldurulurlar. ErgitErgitme genellikle gece yapılır ve ertesi gün cam üretimine başlanır. Ergitilecek camın kısa sürede değiştirilmesine olanak tanır ve özellikle renkli cam, kristal cam, yumuşak özel camlar ve fritler (seramik ve emaye frit) için kullanılırlar.

2.3.7 Özel fırın tasarımları

[59, SORG 1999] [60, SORG 1999]

NO_x emisyonlarının sınırlandırılmasına gösterilen dikkat, bir takım fırın tasarımcılarının daha düşük alev sıcaklıklarına ve dolayısıyla daha düşük NO_x seviyelerine yol açan çeşitli özelliklere sahip ergitici üniteler önermesine yol açmıştır. Bu tip fırınlardan en iyi bilineni LoNO_x® ergiticidir.

Sorg LoNO_x® ergitici, termal verimliliği koruma potansiyeline sahip, daha düşük NO_x seviyelerine ulaşmak için sıg banyo afinasyonu ve hammadde ön ısıtmanın bir kombinasyonunu kullanan bir reküperatif tip fırındır. Sıg banyo arıtıcısı, kritik akım yolunu cam banyosunun yüzeyine doğru yönlendirerek bu yüzey ile fırının üstyapısı arasındaki sıcaklık farkını azaltır. Fırın, benzer bir konvansiyonel fırından daha düşük sıcaklıklarda çalıştırılabilir. Bu teknik 4.4.2.3 kısmında daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Bir diğer fırın tasarımı, esas olarak pota ocakları ve günlük tanklara alternatif olarak pazarlanan Flex® ergiticidir. Elektrik ve doğal gazın kombinasyonu, düşük işletim sıcaklıkları ve enerji tüketimine sahip, kompakt bir fırın sağlar. Fırın, bir boğazla birbirine bağlanan ergitergitme ve rafinasyon bölgelerine ayrılmıştır. Rafinasyon alanı, sıg bir tümsek ile ardından gelen daha derin bir alandan oluşur. ErgitErgitme ucu elektrikle, rafinasyon bölgesi gazla ısıtılır; ancak girişe elektrotlar eklenebilir. Rafinasyon bölgesinden gelen atık gazlar ergitergitme alanından ve harmanın üzerinden geçer. Bir dizi alçak kemer, fırının daha sıcak kısmından gelen ışımanın daha soğuk alanlara ulaşmasını engeller, böylece atık gazlardaki enerjinin büyük bölümü harmana aktarılır.

Fırının esnekliği, ergitergitme ve rafinasyon bölgelerinin ayrı olmasına dayanır. Bekleme süreleri sırasında sıcaklıklar düşürülür ve rafinasyondan kaynaklanan buharlaşma azaltılır. Drenaj gerekli değildir ve düşük cam hacmi nedeniyle hızla yeniden normal çalışma sıcaklığına ulaşılır. Düşük hacim aynı zamanda bileşimdeki değişikliklerinin de daha hızlı yapılmasına katkı sağlar.

2,4 Cam ambalaj

[19, CPIV 1998] [2, UKDoE 1991]

Bu kısımda, tam otomatik işlemlerle soda-kireç ve değişime uğramış soda-kireç formülasyonlarına dayalı ambalaj camı üretimi ele alınmıştır. Diğer ürünlerin üretimi ise yerli ve özel cam sektörleri kısımlarında anlatılmıştır. Tipik cam ambalaj bileşimi aşağıdaki Tablo 2.4'te verilmiştir. Sektördeki çeşitlilik nedeniyle, 2.3 kısımda açıklanan ergitergitme tekniklerinin neredeyse tamamı cam ambalaj üretiminde kullanılmaktadır.

Tablo 2. 4: Tipik cam ambalaj bileşimi

Bileşen	Kütle yüzdesi
Silisyum oksit (SiO_2)	71 - 73
Sodyum oksit (Na_2O)	12 - 14
Kalsiyum oksit (CaO)	9 - 12
Magnezyum oksit (MgO)	0.2 - 3.5
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	1-3
Potasyum oksit (K_2O)	0.3 - 1.5
Kükürt trioksit (SO_3)	0.05 - 0.3
Renk değiştiriciler vb.	Eser miktarda

Proses tasarlanırken dikkate alınması gereken en önemli parametreler şunlardır: fırının tipi ve kapasitesi (rejeneratörler dâhil), mevcut enerji kaynağı karması (petrol, gaz, elektrik), tahmini kırık tüketimi ve ihtiyaç duyulan çok yönlülük (bitmiş ürünlerin renkleri, ağırlığı ve şekli, vb.).

Arkadan ateşlemeli rejeneratif fırın, pazar talebine ve enerji verimliliği ihtiyaçlarına yanıt verebilmek için gerekli geniş ergitme kapasitesi ve çok yönlülüğü sağlaması nedeniyle, cam ambalaj endüstrisinde en tipik ve yaygın olarak kullanılan ergitergitme tekniğidir. En yaygın olarak kullanılan fırın aralığı kapasitesi 300 – 350 ton/gün'dür.

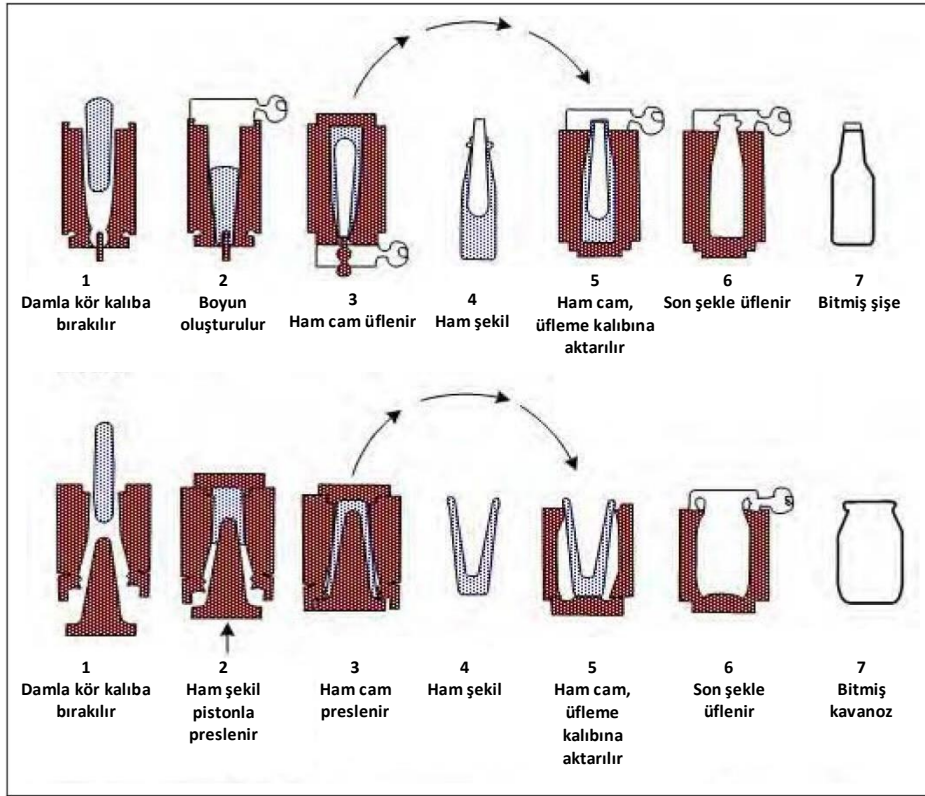
Cam ambalajlar, iki aşamalı bir kalıplama süreci ile presleme-üfleme teknikleri kullanılarak üretilir. Otomatik şişe üretiminde beş temel aşama vardır:

1. doğru kütle ve sıcaklıkta bir parça ergimiş cam (damladamla) oluşturulması;
2. birinci kalıpta (kör kalıp), basınçlı hava (üfleme) veya metal bir pistondan (pres) gelen basınçla birincil şeklin oluşturulması;
3. birincil şeklin (parison) son kalıba (bitirme kalıbı) aktarılması;
4. basınçlı hava ile ambalajı bitirme kalıbının şekline gelecek şekilde üfleyerek şekillendirme işleminin tamamlanması;
5. bitmiş ürünün çıkarılarak şekillendirme sonrası işlemlere gönderilmesi.

Ergimiş cam, bir cam besleme oluğu boyunca, fırından arkada bulunan bir damladamla alma çanağına (spout) akar. DamlaSpout tabanından, uygun şekilde boyutlandırılmış deliklerden bir ila dört paralel cam akışı meydana gelir. Mekanik bir piston sistemi tarafından modüle edilen bu cam akışları, bir kesme mekanizması ile istenen boyutta, basit, sosis şeklindeki cam “damlalar damla” halinde kesilirler. Damlaları oluşturan sistemin tamamına besleyici mekanizma adı verilir. Damlalar, şekillendirme makinesindeki paralel kalıplarda eşzamanlı olarak şekillendirilmek üzere paralel cam akımlarından aynı anda kesilirler. Bunlar tekli, çiftli, üçlü veya dörtlü damladamla makineleri olarak adlandırılır, dörtlü olanlar daha küçük ambalajların yüksek hacimli üretimi için adapte edilmiştir. Çiftli damladamla makineleri en yaygın olanlarıdır. Cam ambalaj fırınları, ayrı besleme olukları aracılığıyla iki veya daha fazla bu tip şekillendirme makinesini besler.

Aşırı ısınmalarını ve camın üzerine yapışmasını önlemek için makasların üzerine su ve çözünür yağ karışımı püskürtülür. Damlalar besleme mekanizmasından bir oluk sistemi ile şekillendirme makinesindeki kör kalıplara doğru yönlendirilir.

Şekillendirme işlemi, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi iki aşamada gerçekleştirilir. Kör kalıbın ilk şekillendirilmesi, ambalajın tipine göre bir pistonla bastırarak veya basınçlı hava püskürtülerek yapılabilir. Bitmiş içi boş şekli elde etmek için son kalıplama işlemi her zaman üfleyerek yapılır. Bu iki işlem, sırasıyla "presleme-üfleme" ve "üfleme-üfleme" olarak adlandırılır. Şekillendirilen ambalajlar, sürekli bir konveyör üzerinde üretimin şekillendirme sonrası aşamalarına gönderilir. Presleme-üfleme ile şekillendirme özellikle kavanoz üretimi için uygundur, ancak aynı zamanda hafif şişelerin üretiminde de sıklıkla kullanılmaktadır. Üfleme yoluyla şekillendirme daha çok yönlü bir işlemdir; standart ağırlıklı şişeler ve daha karmaşık formların üretiminde tercih edilir. İki temel şekillendirme işleminin basitleştirilmiş diyagramları Şekil 2.5'te verilmektedir.



Şekil 2. 5: Presleme-üfleme ile şekillendirme ve üfleme-üfleme ile şekillendirme

Şekillendirme işlemi sırasında, cam ambalajların konveyöre alındıklarında yeterince katılaşmış olmalarını sağlamak için cam sıcaklığı 600 °C'ye kadar düşürülür. Isının azaltılması, kalıplara doğru ve kalıpların içinden üflenerek yüksek hacimli hava ile sağlanır. Camın kalıplara yapışmasını önlemek için çeşitli yüksek sıcaklık grafit bazlı kalıp ayırıcılar, belirli kalıp parçalarına manuel veya otomatik olarak uygulanır ("silme"). Kalıpların periyodik temizliği ve bakımı gereklidir.

Besleme oluğundan gelen cam akışı, şekillendirme işlemine beslenen cam için gerekli sıcaklık kararlılığını, viskoziteyi ve homojenliği korumak için sabit tutulmalıdır. Bölümlerden birinde şekillendirme işlemi kesintiye uğrarsa, sıcak cam damlalar oluklarla bodrum katına yönlendirilir; burada suyla soğutulur, parçalanır ve diğer tüm üretim ıskartaları ile birlikte kırık olarak prosese geri dönüştürülmek üzere harmana geri gönderilir.

Sofra gereçlerini şekillendiren makineler hala ilk otomatik makinelerin sahip olduğu döner tasarım prensibini kullanıyor olmakla birlikte, hemen hemen tüm cam ambalaj üretimi IS makineleri (ayrı bölümlü makineler) ile yapılmaktadır. IS makinesi, yan yana monte edilmiş çok sayıda cam ambalaj yapım biriminden (bölümlerden) oluşur. Her bölümde, paralel olarak şekillendirilecek damla sayısına göre kalıp boşlukları bulunur. Damlalar, bir kepçe ve oluk sistemi (damla dağıtıcısı ve teslimatı) aracılığıyla farklı bölümlere sırayla gönderilir. Tipik olarak IS makineleri, hizmet verilen pazarın hacmine ve türüne bağlı olarak 6 ila 20 bölümden oluşur. IS makinelerinin en önemli avantajlarından biri, ayarlamalar veya kalıp parçalarının değiştirilmesi için bölümlerin bağımsız olarak durdurulabiliyor olmasıdır.

Otomatik ambalaj imalatı, hemen hemen her boyutta, şekilde ve renkte şişe ve kavanozların üretimi için kullanılabilir. Şekil ne kadar basitse, üretim o kadar hızlıdır; hafif yuvarlak bira şişelerinde dakikada 750 adete kadar üretim mümkündür (12 bölümlü IS, dörtlü damla makinelerinde).

Ambalajların dış yüzeyinin hızlı soğutulması, camda yüksek diferansiyel gerilimler ve bunun sonucunda kırılabilirlik yaratır. Bunları ortadan kaldırmak için ambalajlar bir sürekli tavlama fırınından (soğutma tüneli) geçirilirler; burada 550 °C'ye yeniden ısıtılır ve sonra daha fazla gerilim oluşmasını önlemek için kontrollü koşullar altında soğutulurlar. Soğutma tünelleri gaz veya elektrikle ısıtılır, ancak çalışma sıcaklığına getirildikten sonra, ısıtma enerjisinin çoğu gelen kapların ısı ile sağlanır. Yeterince soğuduktan sonra tüm ambalajlar, tolerans dışı değerler ve kalite endişeleri durumunda otomatik olarak reddedilmek üzere otomatik olarak incelenirler. İncelemeden sonra ürün, kolilerle veya yığın olarak paletlere yüklenir, paketlenir, depolanır ve müşteriye gönderilir.

Üretimin genel verimliliği, 'paket-eriyik' oranı olarak ölçülür; bu, paketlenmiş (sevkiyat için) ambalajların tonajının fırında ergitilen camın tonajına yüzde olarak oranıdır. Gıda ve içecek ambalajları üreten tesisler genel olarak % 85 ile 94 arasında paket-eriyik oranlarına ulaşmaktadır. Daha yüksek değere sahip parfüm ve farmasötik ürünler, daha sıkı kontrollere tabidir ve paketleme-eriyik oranları ortalama % 70 civarındadır.

Ürünlerin performansını iyileştirmek için, yüzey kaplamaları ya şekillendirmeden hemen sonra, cisimler hala 500 °C'nin üzerindeki bir sıcaklıktayken ('sıcak kaplama', genellikle SnO₂ kullanarak) ya da tavlama sonrası ('soğuk kaplama', polimerik kaplama) uygulanır. Pratikte her zaman sıcak ve soğuk kaplamaların bir kombinasyonu kullanılır. Kaplamalar genelde ambalajların dış yüzeyine uygulanır.

Cam ambalajlar çeşitli inceleme, paketleme, paketten çıkarma, doldurma ve yeniden paketleme sistemlerinden geçirilir. Ambalajların birbirine zarar vermesini önlemek ve kılavuz sistemlerinden hasarsız biçimde kaymalarını sağlamak için; soğutma tünelinin soğuk tarafında ürüne yağlama işlemleri uygulanabilir. Bunun için kullanılan malzemeler, seyreltik sulu süspansiyon püskürtülerek veya buharlarla temas ettirilerek uygulanan, gıda için güvenli oleik asit ve polietilen bazlı ürünlerdir. Bu işlemler genel olarak önemli çevresel emisyonlara yol açmaz.

Şekillendirme makinesinden çıktıktan hemen sonra cam ambalajlara genellikle çok ince bir kalay oksit veya titanyum oksit kaplaması olan sıcak yüzey kaplamaları uygulanabilir. Bu, ardından gelen yağlama ve soğuk yüzey kaplaması ile birlikte, taşıma sırasında cam yüzeyinin zarar görmesini engeller. Metal oksit kaplama, yağlayıcı organik molekülleri cam yüzey üzerinde tutmak için bir alt tabaka görevi görür ve gıda için güvenli basit yağlayıcılarla yüksek düzeyde çizilme direncinin sağlanmasını mümkün kılar. Sıcak kaplama, mekanik direnci de artırır.

Kaplamanın kendisi görünmez olmalıdır ve bu nedenle son derece ince yapılır. Sıcak yüzey işleminin kalınlığı genellikle <0,01 µm'dir. Eşit kalınlıkta kaplamalar elde etmek için uygulanan işlemler kalay veya titanyumun anhidrit klorürleri veya belirli organo-metalik bileşikler kullanılarak kimyasal buhar biriktirme (CVD) ile yapılır. Kullanılan malzeme miktarı düşüktür, üretim hızına göre üretim hattı başına günde 2 ila 10 kg arasında değişir.

Cam ambalajlar tamamlandıktan sonra bazı durumlarda müşteriye gönderilmeden önce dekorasyon ve ayırt edici özellikler için ikincil bir işlemde geçebilir. Bu ikincil işlemler, basınca duyarlı veya ısıyla büzüşen bir etiket veya ısıyla uygulanan seramik bezenme olabilir.

2,5 Düz cam

[19, CPIV 1998]

‘Düz cam’ terimi, üretim şekli ne olursa olsun, düz bir biçimde yapılan tüm camları kapsar. Bununla birlikte, bu belgenin amaçları doğrultusunda, yüzdürme cam ve haddelenmiş cam üretimini tanımlamak için kullanılmaktadır. Ticari olarak üretilen diğer düz camların çoğu ya özel cam sektörüne (örn. seramik ocaklar) dâhildir ya da Direktifte belirtilen 20 ton/gün’ün altında bir ölçekte üretilmektedir. İnşaat ve otomotiv uygulamaları için büyük hacimli düz cam üretiminin diğer yolları, Avrupa Birliği’nde artık kullanılmayan yöntemler olarak kabul edilmektedir. Bu ürünler, plaka ve tabaka cam olarak adlandırılır ve 1. Bölümde kısaca ele alınmıştır. Çoğu düz cam, temel bir soda kireç formülasyonu ile üretilir, tipik bir yüzdürme cam bileşimi Tablo 2.5'te verilmiştir. Yüzdürme cam ve haddelenmiş cam üretiminin neredeyse tümünde yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlar kullanılır.

Tablo 2. 5: Tipik soda-kireç silika düz cam bileşimi

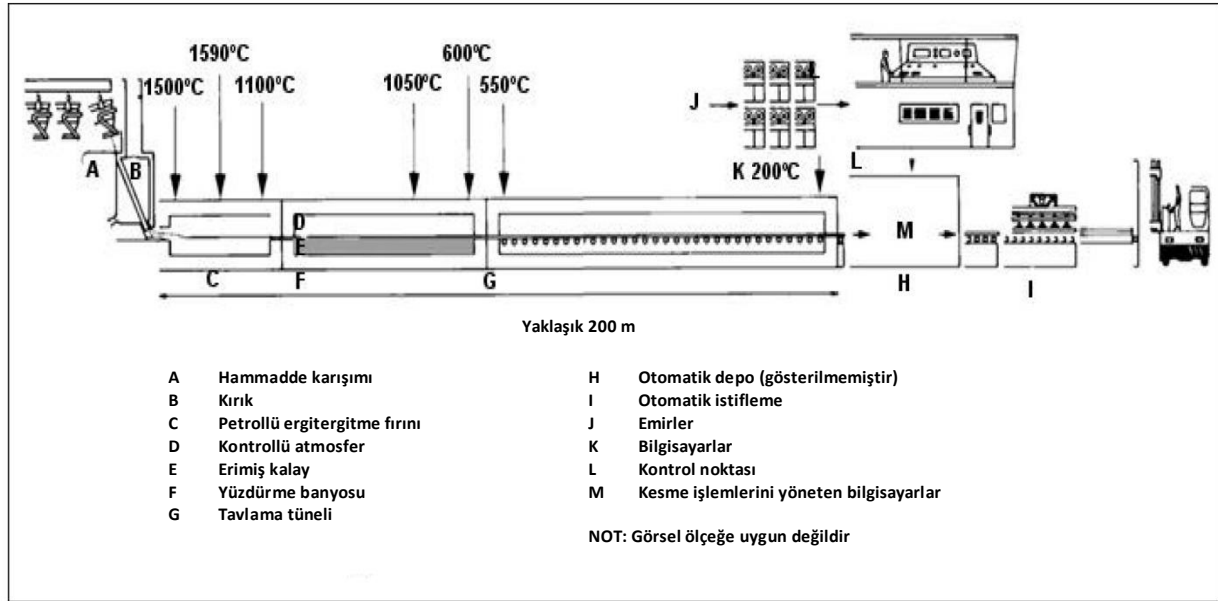
Bileşen	Kütle yüzdesi
Silisyum dioksit (SiO_2)	72,6
Sodyum oksit (Na_2O)	13,6
Kalsiyum oksit (CaO)	8,6
Magnezyum oksit (MgO)	4,1
Alüminyum oksit (Al_2O_3)	0,7
Potasyum oksit (K_2O)	0,3
Kükürt trioksit (SO_3)	0,17
Diğer malzemeler (renk değiştiriciler ve ham maddelerden kaynaklanan arızı safsızlıklar)	Eser miktarda

2.5.1 Yüzdürme cam işlemi

Yüzdürme işleminin temel prensibi, eriyik camı erimiş kalay banyosu üzerine dökerek, yerçekimi ve yüzey gerilimi etkileri sayesinde üst ve alt yüzeylerle paralel bir şerit oluşturmaktır.

Yüzdürme tankı (veya banyosu), çelik bir çerçeve ile desteklenen ve erimiş kalay içeren refrakter bloklarla astarlanmış çelik bir gövdeden oluşur. Yüzdürme tankı yaklaşık 55 ila 60 m uzunluğunda, 4 ila 10m genişliğindedir ve 15 ila 20 bölmeye bölünmüştür. Tank hava sızdırmazdır, hafif indirgeyici atmosferi azot ve hidrojen karışımının enjekte edilmesiyle korunur. Bu, kalay yüzeyinin oksitlenmesini önlemek için esastır, zira oksidasyon cam ve kalay arasındaki önemli temas yüzeyine zarar verebilir. Erimiş kalay, gerekli sıcaklık aralığında sıvı halde kalan ve önemli bir buhar basıncı oluşturmayan tek madde olduğundan banyo sıvısı olarak kullanılır. Eriyik cam, gerekli cam sıcaklığını korumak için ısıtılabilen, refrakter kaplı bir kanal boyunca fırından akar. Kanalin sonunda cam, camın doğru şekilde yayılmasını sağlayan özel bir refrakter dudaktan (‘ağızlık’) kalay banyosuna dökülür. Cam akışı, kanaldaki ayarlanabilir bir asılı refrakter perde (ön ‘kapak’) aracılığıyla kontrol edilir. Camın kalayla ilk temas ettiği yerde, metalin sıcaklığı yaklaşık 1000 °C iken, banyonun çıkışında yaklaşık 600 °C’ye kadar soğur. Banyonun yüzeyinden geçerken, cam üniform bir kalınlığa gelir ve erimiş kalayın neredeyse mükemmel düzlüğünü alır.

Şekil 2.6, düz cam işleminin şematik bir temsilini göstermektedir.



Şekil 2.6: Yüzdürme cam işlemi

Yüzdürme tankının içinde, yönü, yüksekliği, penetrasyonu ve açısı ayarlanabilen birkaç çift su soğutmalı üst silindir vardır. Bu silindirler cam levhayı her iki kenarından dışı çarklarla yakalar ve enine ve boyuna çeker. Cam akış hızı ve silindirlerin dönme hızları, tipik olarak 1,5 mm'den 19 mm'ye kadar olan cam kalınlığının ayarlanmasına yardımcı olur. Cam, kalay yüzeyinde azami doğal kalınlığına gelir; daha kalın camları üretmek için grafit bariyerler eklenebilir.

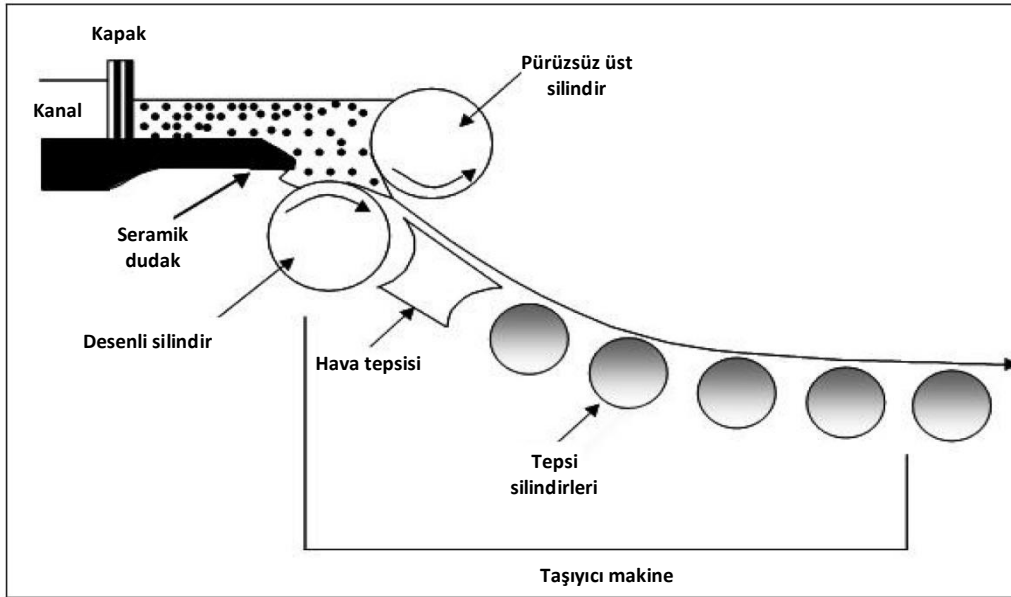
Cam şerit, yüzdürme banyosunun çıkışında kaldırma silindirleri ile alınarak tavlama üzerine, sıcaklık kontrollü bir tünel olan soğutma tüneline girer. Soğutma tüneline başlangıcında, şeridin her iki yüzüne SO_2 püskürtülerek, camı silindirlerin temasına karşı koruyan bir yüzey işlemi gerçekleştirilir. Soğutma tüneli, ısıtma ve basınçlı ve doğal konveksiyonla dolaylı veya doğrudan soğutma gerçekleştirilen bölümlere ayrılmıştır. Burada cam, şekillendirme işleminden kalan diğer gerilmeleri kabul edilebilir bir seviyeye düşürmek için kademeli olarak 600 °C'den 60 °C'ye soğutulur. Zaman ve alan gerektiren bu işlemde, camın yüzdürme banyosuna dökülmesinden kesme hattına kadar kesintisiz devam eden 200 metrelik bir cam şeridi bulunur.

Soğutulmuş cam şerit, hareket eden bir kesici ile hat üzerinde kesilir; kesicinin hat üzerindeki açısı, hattın hızına bağlıdır (hareket etmiyorsa 90°). Cam şeridin üzerinde silindir izleri olan kısımları kesilir ve kırık olarak fırına geri dönüştürülür. Cam levhalar daha sonra incelenir, paketlenir ve satış veya ikincil işlemler için depolanır.

Ürünün performansını artırmak için hat üzerinde kaplama uygulanabilir (örn. düşük yayınlıklı cam). Hat üzeri kaplama prosesi duruma özeldir; endüstride hat üzeri kaplama sistemleri içeren toplam tesis sayısı oldukça azdır. Hareket halindeki cam şeridi, üzerine düşürülen silika ve kalay bileşiklerinin reaksiyona girerek gerekli tabakayı oluşturmasıyla sıcakken kaplanır. İşlem genellikle silikon bazlı bir alt kaplama ve flor katkılı kalay oksit gibi ayrı bir üst kaplamayı içeren iki ayrı kaplama aşamasından oluşur. Kullanılan kimyasalların doğası gereği, genellikle özel bir azaltma sisteminde arıtılan asit gazı ve ince partikül emisyonları ortaya çıkabilir.

2.5.2 Haddelenmiş işlem (desenli ve kablolu cam)

Haddelenmiş Cam İşleminin şematik bir temsili aşağıdaki Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 7: Cam haddeme işlemi

Haddelenmiş cam, çift silindirli sürekli bir işlemle oluşturulur. Erimiş cam, yaklaşık 1000 °C'de kontrollü kalınlık ve yüzey desenine sahip bir şerit üretmek üzere su soğutmalı çelik silindirler arasında sıkıştırılır.

Cam, silindir geçişinden önce gerekli sıcaklığa ulaşmasını sağlamak için ergitme fırınından bir ön hazneye aktarılır. Fırın kapasitesine ve istenilen çıktıya bağlı olarak tek fırından bir veya iki makine beslenebilir. Dönen silindirler, erimiş camı, silindirlerin arasındaki mesafe ile ayarlanmış olan kalınlıkta bir şerit olarak çıktığı geçide çeker. Şerit genişliği tipik olarak 2 metre civarındadır. Şerit su soğutmalı silindirlerden geçerken ısısı alınır. Ara-yüzeydeki sıcaklığın kontrolü, prosesin doğru bir şekilde işletilmesi ve ürünün kalitesi için çok önemlidir. Şerit silindirleri terk ederken, fazla daralmasını önleyecek ve yaklaşık 2 metre boyunca ileriye doğru hareket eden silindirler üzerinde taşınacak viskoziteye sahiptir. Orada daha da soğutulur ve yaklaşık 600 °C'de tavlama tüneline yönlendirilir.

Bu süreçte, silindirlerin üç işlevi vardır; bunlar şeridi oluşturmak, seçilen deseni üzerine basmak ve ısıyı gidermektir. Silindirler, mükemmel bir aksel simetri ve silindir yüzeyinde herhangi bir kusur olmaksızın tek tip bir desen ile çok hassas bir şekilde işlenmelidir.

Üretilen desen yelpazesinin çok geniş olması, pazar taleplerini karşılamak için sık sık değişiklik yapmayı gerektirir. Bu nedenle, makine tasarımında dikkate alınması gereken konulardan biri, desenli silindirin değiştirme kolaylığıdır. En yaygın olarak uygulanan çözüm, iki haddeme makinesini bir makaslı bir ray üzerinde yan yana kurmaktır. Bu şekilde, silindirin değiştirilmesi gerektiğinde yeni desenli silindirler yerine takılmaya hazır olarak yedek makineye monte edilebilir. Bu işlem, cam akışının silindirlerin yukarı akış yönündeki kanal içine yerleştirilen metalik bir kol vasıtasıyla durdurulmasını gerektirir.

Haddeleme işlemi, tel takviyeli cam üretimini kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Kullanılan iki farklı teknik vardır. İlkinde, şekillendirme makinesine iki cam akışı sağlayan iki kanal kullanılır, ikinci yöntemde ise yalnızca bir cam akışı ve bir kanal gereklidir. Tel kafes, makinenin üzerinde asılı duran bir rulodan aşağı beslenir ve iki silindir arasındaki boşluğa giren cam akışının oluşturduğu 'cam desteğe' yönlendirilir. Tel kafesin özellikleri, kontrolü ve şartlandırılması, ürünün kalitesi için büyük önem taşımaktadır.

2.6 Kesintisiz cam elyaf

[19, CPIV 1998] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996] [131, APFE 2008]

Kesintisiz cam elyaf üretiminde en yaygın kullanılan bileşim, sektör çıktısının % 98'inden fazlasını temsil eden E-camdır. Genel uygulamalar için tipik E-cam bileşimi Tablo 2.6'da gösterilmektedir.

Cam elyaf iplik ürünleri için Tablo 2.7'de gösterilen ASTM D578-00 sertifikalı bileşim tercih edilir. Kesintisiz cam elyaf üretiminde diğer bileşimler de kullanılır, ancak bunlar AB'de çok küçük miktarlarda üretilirler. Bu diğer formülasyonlar için kullanılan ergitme teknikleri çok spesifiktir ve genel olarak sektörde kullanılan tekniklerin bütünü temsil etmez. Bu belgenin amaçları doğrultusunda sadece E-cam üretimi dikkate alınmıştır.

Tablo 2. 6: Genel uygulamalarda kullanılan cam elyaf ürünler için tipik E-cam bileşimi

Bileşen	Ağırlıkça yüzdesi
B ₂ O ₃	0 ila 10
CaO	16 ila 25
Al ₂ O ₃	12 ila 16
SiO ₂	52 ila 56
MgO	0 ila 5
Toplam alkali metal oksitler	0 ila 2
TiO ₂	0 ila 1,5
Fe ₂ O ₃	0,05 ila 0,8
Florür	0 ila 1,0

Tablo 2. 7: Baskı devre kartlarında ve havacılıkta kullanılan cam elyaf iplik ürünleri için tipik E-cam bileşimi

Bileşen	Ağırlıkça yüzdesi
B ₂ O ₃	5 ila 10
CaO	16 ila 25
Al ₂ O ₃	12 ila 16
SiO ₂	52 ila 56
MgO	0 ila 5
Na ₂ O ve K ₂ O	0 ila 2
TiO ₂	0 ila 0,8
Fe ₂ O ₃	0,05 ila 0,4
Florür	0 ila 1,0

Kesintisiz cam elyafı için kullanılacak eriyik cam, genellikle yandan ateşlemeli, hava-fosil yakıtlı reküperatif fırınlarda üretilmiştir. Halen oksijen takviyeli bazı fırınlar kullanılsa da, 2005'te Avrupa'daki fırınların %43'ünü oluşturan oksî-fuel fırınların oranı, büyük bir ivmeyle %100'e doğru yükselmektedir. Hem hava-yakıt hem de oksî-yakıt fırınları elektrik takviyesi ile donatılabilir (2005'te fırınların %50'si donatıldı).

Rejeneratif fırınlar, nispeten küçük fırın boyutları ve rejeneratörlerdeki sıcaklıkta olası borat yoğunlaşmasının yaratacağı ciddi sorunlar nedeniyle sektörde kullanılmamaktadır. Bu sektörde en yaygın olarak kullanılan cam formülasyonu, çok düşük alkali içeriği sebebiyle düşük elektrik iletkenliğine sahip E-camdır. Belgenin yazıldığı tarihte (2010) E-cam üretiminin % 100 elektrikli ergitme yoluyla yapılması ekonomik olarak uygun değildir.

Eriyik cam, fırının ön ucundan bir dizi refrakter kaplı, gazla ısıtılan kanal yoluyla ön haznelere akar. Her ön haznenin tabanında, erimiş camı, elyaflaştırma için burç dip kalıbındaki memelere ileten birkaç 'burç' vardır. Burçlar, tabanında yer alan delikli metal plakada (burç plakası) birkaç yüz kalibre delik (burç uçları) olan, platinyum-rodium alaşımları gibi asal metallerden yapılan, kutu benzeri karmaşık yapılardır. Burç elektrikle ısıtılır ve her bir delikten akan camın hızının tutarlı olmasını sağlamak için sıcaklığı tüm yüzey üzerinde hassas bir şekilde düzenlenir.

Burç uçlarından akan cam, sürekli lifler oluşturmak için yüksek hızlı bir sarma cihazının hareketiyle çekilir ve inceltir. 5 ila 24 µm arasındaki spesifik lif çapları, doğrusal çekme hızının (5 ile 70 m/s arasında değişebilir) hassas bir şekilde ayarlanmasıyla elde edilir. Cam elyafları burcun hemen altında suyla soğutulan metal kanatçıların, yüksek hava akışının ve su püskürtmenin kombine etkisiyle şiddetli bir soğutmaya maruz kalır.

Birlikte çekilen lifler, her bir life büyük kısmı polimer emülsiyonu veya çözeltisinden oluşan sulu bir kaplama uygulayan bir silindir veya kayış üzerinden geçirilir. Kaplama aynı zamanda bağlayıcı veya haşıl olarak da adlandırılır ve bir ya da iki görevi vardır; bunlar, elyafların daha sonraki işleme ve taşıma operasyonları sırasında birbirlerini aşındırmalarını engellemek, ve cam elyafların reçineye iyi yapışması için polimer takviyesi sağlamaktır. Lifler üzerindeki bağlayıcı içeriği ağırlıkça tipik olarak % 0,5 ile % 1,5 aralığındadır. Kaplama malzemesi, ürünün son kullanımına bağlı olarak değişecektir. Tipik kaplama bileşenleri şunları içerir: Film oluşturucular (örn. polivinil asetat, nişasta, poliüretan, epoksili reçineler); bağlayıcı maddeler (örn. organofonksiyonel silanlar); pH değiştiriciler (örn. asetik asit, hidroklorik asit, amonyum tuzları); ve yağlayıcılar (örn. mineral yağlar, yüzey aktif maddeler).

Kaplanmış elyaflar, yapılan takviye türüne bağlı olarak daha ileri işlem aşamalarından geçen elyaf demetleri halinde bir araya toplanır. Bu demetler konvansiyonel veya doğrudan işlemeye tabi tutulur. Konvansiyonel işlemede, elyaf demetleri, ağırlık olarak 50 kilografa kadar çıkabilen 'kekler' oluşturmak üzere sarıcının dönen miline sarılır. Yüzde 1,5'e kadar bağlayıcı ve % 15'e kadar su içeren kekler etiketlenir ve fabrikasyona gönderilir. Bazı uygulamalar için kekler ıslak olarak işlenebilir, ancak çoğu durumda kurutma fırınlarından geçmeleri gerekir. Fırınlar gaz, buhar, elektrik veya dolaylı olarak sıcak hava ile ısıtılır. Başlıca ürünler, kırık elyaf, fitil, cam tülü ve öğütülmüş elyaflardır.

Kırık elyaflar, keklerin çözülerek elyafların döner bıçaklı silindirik bir makineye beslenmesi ile üretilir. Tipik olarak uzunlukları 3 ile 25 mm aralığında olan kırık elyaflar, ağırlık olarak 1 tona kadar çıkabilen çeşitli paketler haline getirilir. Fitiller, birden fazla kekten gelen elyafların çözülerek birim uzunluk başına istenen cam ağırlığını elde edecek şekilde bir araya getirilmesiyle üretilir.

Kırık elyaf keçesi, keklerden çözülen elyafların veya fitillerin silindirik doğrayıcılarda kesilmesiyle üretilir. Doğrayıcılar, kesilen elyafların 3,5 metreye kadar çıkabilen bir genişliğe sahip hareketli konveyör bandına yüklenebilmesini sağlayacak şekilde ayarlanır. Elyafra ikincil bir bağlayıcı, örneğin sulu bir polivinil asetat çözeltisi veya doymuş poliestere tozu püskürtülür. Toplam bağlayıcı içeriği, %2 ile 10 aralığındadır. Konveyör, ısıtılan keçeyi bir kurutma ve kütleme fırınından ve ardından keçeyi mil üzerine sarmadan önce bir çift sıkıştırma silindirinden geçirir. Keçe çeşitli yoğunluklarda ve genişliklerde yapılabilir ve tipik olarak 50 kg'lık kutularda paketlenir.

İplik ürünler, ya kuru şekillendirme keklerinden ya da elyafların büküm işlemi sırasında kurutulduğu ıslak keklerden üretilir. İplik, 100 keke kadar kapasitesi olan bir bükme makinesinde (veya bükme çerçevesinde) yapılır. Elyaflar kekten çözülür, iplik oluşturacak şekilde bükülür ve bobine sarılır. Bu, tekstil sanayiinde kullanılabilecek benzer, karmaşık bir prosestir. Genellikle büküm makinesi tek bir liften yalnızca bir iplik üretir, ancak (daha nadir olsa da) çoklu halde sarılmış iplik de üretilir.

Cam tülü, keklerden çözülen elyafın, ya doğrudan hamurlaştırıcıya ya da daha sonra kullanılmak üzere ara konteynirlara beslenmek üzere, silindirik doğrayıcılarda kesilmesiyle üretilir. Hamurlaştırıcıda dispersiyon sonrası, lifler ıslak serme yöntemi ile tel ağı bir konveyör bandına aktarılır. Bağlayıcı olarak, %20'ye kadar (kuru içerik) bir oranda, farklı tipte reçineler, polivinil alkol ve lateksten oluşan sulu bir çözelti eklenir. Tel, tülü tambur üzerine sarmadan önce ağı bir kurutma ve kürlleme fırınından geçirir. Cam tülü, çeşitli yoğunluklarda ve genişliklerde üretilir.

Keklerin veya kırık elyafların 50 - 300 µm uzunluklarda çekilmesiyle üretilen çekilmiş lifler, ağırlıkları 20 kg'dan 1 tona kadar değişen paketler haline getirilir.

Kırık elyaflar, fitiller ve kesintisiz elyaf keçeler doğrudan süreçlerle de üretilir. Kırık elyaflar, kaplamanın ardından elyaf demetinin doğrudan yüksek hızlı bir doğrayıcıya sokulmasıyla üretilir. Elyaflar toplanır ve ürün kullanımına bağlı olarak ıslak veya kuru halde paketlenir. Doğrudan fitiller, üründe istenen sayı ve çaplarda delikleri olan bir burç plakası kullanılarak üretilir. Lifler kaplanabilir ve fitil normal şekilde kurutulabilir. Kesintisiz elyaf keçe, liflerin doğrudan hareketli bir konveyör üzerine serilmesi ve üzerlerine sulu veya toz bağlayıcı püskürtülmesi yoluyla üretilir. Elyafların konveyör üzerinde doğru şekilde bırakımını sağlamak için özel bir cihaz kullanılır. Keçe, mil üzerine sarılmadan ve paketlenmeden önce bir kurutma fırınından ve sıkıştırma silindirlerinden geçer.

2.7 Cam ev eşyaları

[28, Evsel 1998]

Bu sektör, içerdiği farklı ürün ve prosesleri ile cam sanayiinin en yüksek çeşitliliğe sahip sektörlerinden biridir. Prosesler; dekoratif el yapımı detaylı kristal camların üretim faaliyetlerinden, daha düşük değerli toplu tüketici ürünleri yapmak için kullanılan yüksek hacimli, oldukça makineleştirilmiş yöntemlere kadar uzanmaktadır. Cam ev eşyalarının büyük bir bölümü, cam ambalaj formülasyonlarına yakın olan soda-kireç camından yapılır. Bununla birlikte, formülasyonlar, belirli kalite gereksinimleri ve şekillendirme süreçlerinin çeşitliliği nedeniyle genellikle daha karmaşıktır. Cam ambalajda olduğu gibi, renklendirici maddeler de fırına veya besleyiciye eklenebilir. Diğer temel ev eşyaları camları şunlardır:

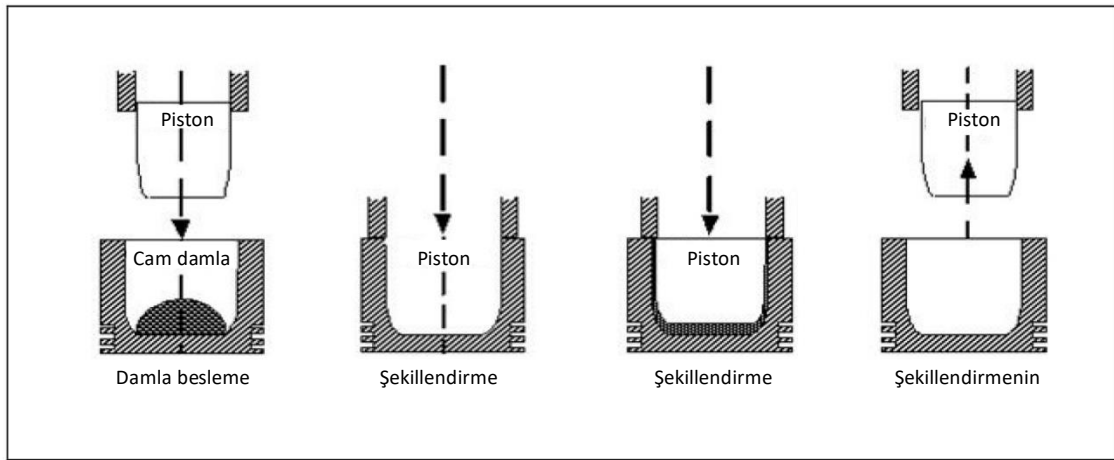
- florür veya fosfat içeren opal (opak) camlar
- 69/493/AET Konsey Direktifinde öngörülen resmi kristal cam tanımlarını (formülasyon ve özellikler) karşılayan tam kurşunlu kristal, kurşunlu kristal ve kristal cam.
- bor içeren borosilikat cam; çok düşük olan termal genleşme katsayısı nedeniyle özellikle pişirme gereçlerine uygun
- daha da düşük genleşme katsayısına sahip pişirme gereçleri için cam seramikler.

Geniş ürün ve süreç yelpazesi, pota ocaklarından büyük rejeneratif fırınlara kadar, 2.3 kısmında açıklanan ergitme tekniklerinin neredeyse tümünün sektörde kullanımını muhtemel kılar. Cam ambalaj üretiminden farklı olarak, kalite kısıtlamaları nedeniyle dışarıdan gelen kırık yaygın olarak kullanılmaz; ancak tesis içi kırık her yerde kullanılır.

Şekillendirme süreçleri iki ana kategoriye ayrılır; bunlar, otomatik işleme ile el yapımı veya yarı otomatik işlemdir. Otomatik işleme, cam ambalaj sektöründe olduğu gibidir. Fırından çıkan cam, bir veya daha fazla besleme oluğu vasıtasıyla, kalıplar kullanılarak ürünlerin oluşturulduğu şekillendirme makinesine beslenir. Kullanılacak şekillendirme tekniği, yapılan ürünün boyutlarına bağlıdır. Dört ana teknik; ‘presleme-üfleme’, ‘üfleme-üfleme’, presleme ve döndürmedir. Presleme-üfleme ve üfleme-üfleme teknikleri, cam ambalaj sektörü (bkz. 2.4 kısmı) ile esasen aynıdır ve dolayısıyla burada ayrıntılı olarak açıklanmamıştır, ancak makinelerin tasarımı ve çalışma koşulları (hız, kalite gereksinimleri) farklılık gösterir.

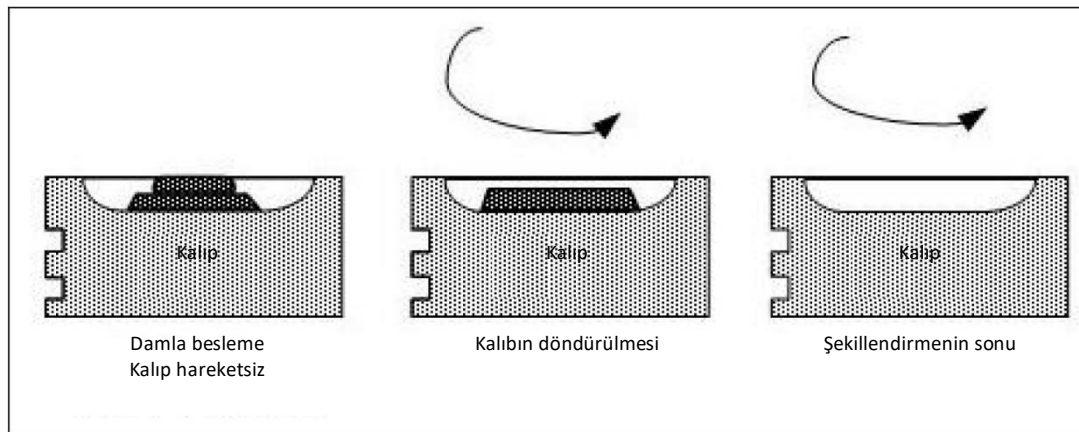
Presleme işlemi nispeten basittir ve oldukça sığ ve ağız kısmının tabandan daha geniş veya tabana eşit genişlikte olduğu nesneler için kullanılır. Şekil 2.8’de gösterildiği gibi, sıcak cam damlasının kalıp ve piston arasında preslenmesini içerir. Cam eriyiğinin giriş sıcaklığı formülasyona bağlı olarak değişecektir ancak soda-kireç camı için tipik olarak 1150 °C’dir.

Aşağıdaki Şekil 2.8’de cam nesnelerin şekillendirilmesine yönelik presleme işleminin şematik bir temsili gösterilmektedir.



Şekil 2. 8: Cam nesnelerin şekillendirilmesine yönelik presleme işlemi

Savurma işlemi, tabaklar ve sığ kaseler gibi dairesel nesnelerin üretiminde kullanılır. Kalıbın içine sıcak bir cam damla bırakılır, döndürülür ve ortaya çıkan merkezkaç kuvveti ile ürün oluşturulur.



Şekil 2. 9: Cam nesnelerin şekillendirilmesine yönelik savurma işlemi

Şekillendirilen ürünler, genellikle gerekli yüzey kalitesini elde etmek için alevle bitirilir ve parlatılır.

Sıklıkla ihtiyaç duyulan çok yüksek sıcaklıklar, oksijen-gaz veya bazı durumlarda oksijen-hidrojen alevi yoluyla sağlanır. Bu proseslerin avantajları, daha düşük özgül enerji tüketimi, kolay kullanım ve daha düşük atık gaz hacmidir. Alevlemenin ardından, nesneler bir tavlama tüneline girer ve üzerlerine yüzey kaplamaları uygulanabilir. Tavlama ve soğuk kaplama işlemleri, cam ambalaj cam için olanlarla benzerdir ve bu nedenle daha ayrıntılı açıklanmamaktadır (bkz. 2.4 kısmı). Bazı durumlarda, nesneler tavlama tüneli yerine, mekanik ve termal şok dirençlerini arttırmak üzere temperleme fırınından geçirilir. Belirli eşyaların üretiminde, yeniden ergitmeden sonra ayrı haldeki iki veya daha fazla parça birleştirilir. Bunlar, bardakların gövde ve tabanları ve yine bardak ve kupaların kulpları gibi parçalardır. Bu parçalar ayrı olarak presleme, çekme veya ekstrüzyonla yapılır. Cam gövdeler genellikle cam ampulünden çekilir ve yalnızca tabanlar ayrı olarak eklenir. El yapımı ürünler için cam, içi boş bir boruyu tutan bir kişi tarafından doğrudan fırından veya besleyiciden alınır. Boru içerisine kısa bir nefes verilerek küçük, içi boş bir gövde (parison) yaratılır ve daha sonra tahta veya metal bir kalıp içinde döndürülerek şekil oluşturulur. Nesneler, herhangi bir iç gerilimi ortadan kaldırmak üzere bir tavlama tüneline taşındıktan sonra alevle bitirilir, parlatılır ve yeniden ısıtılır. Yarı otomatik üretimde, sürecin bazı adımları (fırından alma, şekillendirme ve taşıma) makineler veya robotlar ile gerçekleştirilir. Genel olarak, el yapımı ürünlerin imalatının 2010/75/AB sayılı Direktifin kapsamına girmesi, yalnızca diğer cam yapım faaliyetlerinin yapıldığı bir tesiste gerçekleştirilmesi halinde muhtemeldir.

Temel parçalar üretildikten sonra bir veya daha fazla soğuk bitirme işlemine tabi tutulabilirler. Bunlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Kesme sırasında, elmas emdirilmiş diskler kullanılarak işlenmemiş camların üzerine önceden seçilmiş ince desenler oyulur. Bu işlem ürüne göre elle veya otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Su (bazen yağlayıcılar vb. ile dozanır), kesme işleminde soğutucu olarak kullanılır, ayrıca ortaya çıkan ince cam parçacıklarını uzaklaştırır. Su arıtıldıktan sonra bertaraf edilir veya geri dönüştürülür. Bazı durumlarda, ürünlerin kenarları benzer ancak daha az özelleşmiş teknikler kullanılarak zımparalanır ve parlatılır.

Cam kesimi, cam üzerinde gri, bitmemiş bir yüzey oluşturur. Camın yüzeyi, hidroflorik ve sülfürik asitlerden oluşan bir parlatma banyosuna daldırılarak orijinal görünümüne geri döndürülür. Asitler cam yüzeyini pürüzsüzleştirir; çünkü pürüzlü alanlar daha büyük yüzey alanlarından dolayı daha kolay çözülür. Camın yüzeyinde beyaz bir "kabuk" (kurşun sülfattan oluşan) oluşur. Sıcak suyla duruladıktan sonra cam, parlak bir hale gelir.

Parlatma banyosunun yüzeyinden HF ve SiF₄ buharı salınır. Bu buharlar yıkama kulelerinde arıtılır. Bu işlem sırasında, tipik olarak %35'e kadar çıkan derişimlerde hekzafluorosilik asit (H₂SiF₆) oluşur, ve daha sonra yıkama suyunun asitliği giderilir. Alternatif olarak, H₂SiF₆ geri kazanılabilir ve belirli durumlarda kimya endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilir. Durulama suyunun da periyodik olarak asitliği giderilmelidir. Mekanik parlatma ve alevle veya lazerle yüksek sıcaklıkta parlatma gibi, asitli parlatmaya alternatif olabilecek teknikler geliştirilme aşamasındadır.

Göze hoş gelen desenler oluşturmak için çok çeşitli başka teknikler de kullanılabilir. Bu teknikler arasında emayelerle bezeme, kum püskürtme veya asitle dağlama gravür yer alır. Bu işlemlerin hacimleri ve bunlarla ilişkili emisyonlar, ana işleme aşamalarına kıyasla azdır.

2.8 Özel cam

[26, Özel 1998][2, UKDoE 1991][22, Schott 1996][132, Özel 2008]

Özel cam sektörü bileşim, üretim yöntemi ve son kullanım açısından önemli ölçüde farklılık gösterebilen, geniş bir ürün yelpazesini kapsayan son derece çeşitli bir sektördür. Ayrıca, başta cam ev eşyaları için borosilikat camlar olmak üzere, pek çok ürünün diğer sektörlerle örtüştüğü söylenebilir.

Önceden katod ışın tüpü camları özel cam sektörünün ana ürününü temsil ediyordu; bu belgenin yazıldığı tarihte (2010) ise bu üretim AB’de neredeyse tamamen ortadan kalkmış olup, ana üretimi cam tüpler ve ampuller oluşturmaktadır. Diğer ürünlerin çoğu nispeten düşük hacimlidir ve genellikle 20 ton/gün eşiğinin önemli miktar altındadır. Ancak, bu düşük hacimli ürünlerin çoğu, diğer işlemlerle birlikte toplam üretimin bu rakamı aştığı tesislerde üretilmektedir. Tablo 2.8’de, özel cam sektörünün ana cam ürünlerinin bileşimlerini verilmektedir. Bazı cam bileşimleri üründen ürüne büyük farklılıklar göstermektedir ve tabloda verilen rakamlar yalnızca yol gösterici olarak kabul edilmelidir.

Bu kısımda, özel cam sektöründe kullanılan temel üretim yöntemleri özetlenmektedir.

Sektörün çeşitliliği nedeniyle çok çeşitli ergitme teknikleri kullanılmakla beraber, düşük üretim hacimleri çoğu fırının oldukça küçük boyutlu olmasını beraberinde getirmektedir. Kullanılan en yaygın teknikler reküperatif fırınlar, oksijen-gazlı fırınlar, elektrikli ergiticiler ve günlük tanklardır. CRT camı üretimi gibi bazı durumlarda rejeneratif fırınlar da kullanılır. Özel camların erime sıcaklıklarının, daha alışıldık, seri üretilen bileşimlerden daha yüksek olabileceğine dikkat edilmelidir. Özellikle borosilikat cam ve cam seramiklerin ergitilmesinde 1650 °C'nin üzerinde sıcaklıklar gereklidir. Bu yüksek sıcaklıklar ve karmaşık formülasyonlar, soda-kireç gibi ürünlere kıyasla, ton başına daha yüksek çevresel emisyonlara yol açabilir. Daha düşük üretim ölçeği, daha yüksek sıcaklıklarla bir araya geldiğinde, bu durum sektörde enerji verimliliğinin genellikle daha düşük ve fırın ömürlerinin genellikle daha kısa olmasını beraberinde getirir.

Optik cam ve seramik cam gibi belirli ürünlerin yüksek kalite gereksinimleri, kontaminasyonu önlemek için rafinasyon bölümünden itibaren kullanılan bileşenlerin oluşturulmasında (veya kaplamasında) platin kullanımını gerekli kılar.

Diğer sektörlerde olduğu gibi, cam ergitme ve rafinasyon sonrası cam eriyiği sıcaklık kontrollü besleme olukları boyunca fırının ardından gelen şekillendirme cihazına doğru akar. Özel cam sektöründe kullanılan başlıca şekillendirme teknikleri şunlardır:

- presleme-üfleme ile üretim (borosilikat cam, sofr gereçleri ve mutfak ürünleri)
- döner kalıp prosesi (borosilikat cam, lamba üniteleri).
- aşağı doğru üfleme prosesi (borosilikat cam, cam ev eşyaları)
- haddeleme (seramik düz cam)
- presleme (CRT cam ve lamba üniteleri)
- şerit işlemi (ampuller)
- eğirme prosesi (borosilikat cam)
- tüp ekstrüzyonu, Danner ve Vello prosesleri yoluyla (aydınlatma dâhil cam tüpler).
- döküm (optik cam blokları ve bazı özel ürünler)
- çekme işlemi (ekran camı gibi ince film camları için aşağı çekme, borosilikat cam için yukarı çekme)
- yüzen (borosilikat cam)

Presleme-üfleme ve üfleme-üfleme prosesleri, esasen cam ambalaj sektörü için açıklananlarla aynıdır (bkz. 2.4 kısmı). Seramik ocaklar gibi ürünleri üretmek için kullanılan haddeleme işlemi, düz cam sektörü için açıklanan işlemin küçültülmüş ve düz silindirler içeren bir versiyonudur. Bu kısımda daha ayrıntılı açıklanmayan bu işlemler için önceki kısımlara başvurulmalıdır (bkz. 2.5.2).

Presleme işleminde cam, metalik kalıp malzemesinin tüm parçaları ile temas halindedir. Presleme kalıbı üç parçadan oluşur: içi boş kalıp, cidarın kalınlığını belirleyen bir boşluk bırakarak kalıba oturan bir piston ve kalıptan çıkarıldığında pistonu yönlendiren bir conta bileziği. Cam damlası kalıba beslenir ve cam, kalıbın her yerini doldurana kadar halkayla yönlendirilen piston ile hidrolik veya pnömatik olarak bastırılır.

Piston ve kalıp, camdaki ısıyı büyük oranda giderir ve katılaşmanın ardından piston geri çekilir. Çoğu pres makinesi, genellikle 4 ila 20 kalıbı olan döner tablaların üzerinde çalıştırılır (maksimum 32, CRT camı için çoğunlukla 11). Döner tabla, camı yükleme, presleme, soğutma ve çıkarma aşamalarından adım adım geçirir. Ampuller cam şeridi süreci kullanılarak üretilebilir. İki su soğutmalı silindir arasında erimiş camın haddelenmesiyle bir cam şerit oluşturulur. Cam şeridi, silindirlerden çıkarken makine boyunca delikli sürekli bir şerit oluşturan akışkan debiölçerleri üzerinde taşınır. Şerit ileri doğru hareket ederken yukarısında, şerit üzerindeki her bir deliğe denk gelen üfleme başlıklarının olduğu sürekli bir zincir bulunur. Üfleme başlığından gelen bir nefes, camı delikten üfler ve cam, etrafından gelip altında kapanan döner bir kalıp aracılığıyla ampul haline gelir. Şekillendirilen ampul, şerit üzerinde ilerleyerek kalıbından çıkarılır, hava ile soğutulur ve ardından şeritten bırakılarak taşıma bandına aktarılır. Bu bant, ampulleri bir tavlama tüneli içinden soğutma, inceleme ve paketleme işlemlerine taşır. Dakikada 1000 ampulün üzerindeki üretim hızlarına ulaşılabilir.

Ekstrüzyon, keskin bir viskozite eğrisine sahip veya kristalleşme eğilimi olan camlar için, çok yakın boyutsal paylara sahip ürünlerin üretiminde kullanılabilir. Endüstriyel kullanıma yönelik keskin kenarlı kesitlere sahip, çeşitli dolu veya boş profiller yapmak için ekonomik bir yöntemdir. Laminant ekstrüzyon yöntemlerini kullanarak, iki veya üç tip cam birleştirilerek, örneğin kimyasal dirençli camla kaplanmış bileşenler üretilebilir.

Cam borunun sürekli olarak çekilmesinde en yaygın kullanılan yöntem Danner prosesidir. Sürekli bir erimiş cam şeridi, Danner mili adı verilen hafif açılı, yavaş dönen bir refrakter çekirdeğe akar. Milin alt ucunda, borunun çekildiği içi boş bir ampul oluşur. Hava, camdaki boşluğu koruyarak içi boş mil shaftından üflenir. Yatay konuma getirildikten sonra, katılaşmaya başlayan boru makaralı paletler üzerinde çekme birimine taşınır ve burada 1,5 m veya daha uzun olacak şekilde kesilir. Bu makineler saniyede 3 m'den fazla cam boru üretebilir.

Vello prosesi ise ikinci en yaygın işlemdir ve çıktı oranı Danner prosesi ile yaklaşık olarak aynıdır. Fırından çıkan cam, ön hazne boyunca ve bir delikten (halka) aşağı doğru akar; camdaki oyuk, halka içinde bulunan konik açıklığa (çan) sahip bir boru ile korunur. Hala yumuşak olan boru, yatay konuma getirilir ve Danner prosesinde olduğu gibi makaralı paletler boyunca çekilir, soğutulur ve kesilir.

Vello prosesinin bir çeşidi, çapları 360 mm'ye kadar olabilen borular üretmek için kullanılan aşağı çekme işlemidir. Cam, bir vakum odasından aşağı doğru çekilir ve farklı açıklıklara ayarlanabilen dairesel bir kapak olan, kapalı bir iris diyaframından geçirilir. Dördüncü bir proses ise, cam tüpün dönen bir çanaktan dikey olarak yukarı doğru çekildiği yukarı çekme işlemidir. Çekme alanı, bir ucu camın içerisinde olacak şekilde dönen bir seramik silindir ile korunmaktadır. Cam yüzeyinin altına yerleştirilen bir hava jeti vasıtasıyla boşluk oluşturulur. Bu teknik, özellikle kalın cidarlı ve büyük çaplı boruların üretilmesi için elverişlidir.

Optik cam, bloklar halinde dökülebilir veya silindirlerden ham cam olarak çekilerek işlenmek üzere satılabilir. Kalıplar genellikle refrakter malzemelerden yapılır.

Su camı üretimi Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi (LVIC-S) MET-Ref (<http://eippcb.jrc.es/reference/>) kapsamındadır.

Tablo 2. 8: Özel cam sektörünün ana ürünlerinin kimyasal bileşimi

Bileşen	CRT cam		Cam tüp		Borosilikat cam, örn. kimyasal cam gereçleri	Diğer aydınlatma camları		Cam seramikler	Kuars cam	Optik cam				Diğer örn. diyotlar
	Panel	Huni	Soda-kireç- silika	Borosilikat		Opak cam	Ampuller			(Bor) kron	Optik renksiz cam	Flor-fosfat	Nadir toprak öğeleri	
	Kütle-%	Kütle-%	Kütle-%	Kütle-%		Kütle-%	Kütle-%			Kütle-%	Kütle-%	Kütle-%	Kütle-%	
SiO ₂	60,63	53,55	69	67,81	70,81	63,68	73,75	55,70	99,9	35,70	25,60		0,28	35
Al ₂ O ₃	2-3,4	1-5,2	2,4	2,0-7	2,3-5,5	3-3,5	1-4	15,25	0,005	0,10	0,15	0,15	0,3	
Fe ₂ O ₃			0,1	0,01-2	0,01-0,03	0,15		0-0,2						
CaO	0-3,2	0,9 - 3,8	4,5	0,01 - 1,5	0,01-1	1,4-8	0,5	0-4,0	0,001	0,10		0,10	0,25	
PbO		14,23									25,70			60
Sb ₂ O ₃	0,15-0,8	0-0,35	0-0,9					0,2		0-0,3	0-0,1	0-0,1	0-0,2	
As ₂ O ₃	0-0,3	0-0,3	0-0,06	0-0,06				0-1,5		0-0,3	0-0,3	0-0,1	0-0,1	
MnO ₂				0,01-5										
MgO	0-1,2	0,6-2,2	2,3	0,01-0,5	0,01-0,5	1,4-4	0,5	0-1,0	0,3			0,5	0,1	
Na ₂ O	6,6-9,4	5,8 - 6,7	9,16	3,5-12	3,4-6,5	9,10	3,4	0,5-1,5	0,2	0,10	0,5-10			
K ₂ O	6,6-8,4	7,8 - 8,1	1 - 11	0,01 -2,5	0,5- 1,5	6	1,5-2,5		0,2	0,20	0,5-8			5,0
SO ₃						0,2								
F						4,0-5,4				0,10		0,35		
B ₂ O ₃			1	5,13	8,13	0-1,6	12,17	0,3		5,20		0,10	10,40	
BaO	8,3-13	0-2,5	1,6	0,01-3,5		2,3-3		0,3		0,42	0,20	0,40	0,45	
ZnO	0-0,8	0-0,8				3 - 4,8		0,3		0,10		0,1	0,25	
SrO	2,2-8,8	0-0,5						0,1		0,5	0,5	0,20	0,5	
ZrO ₂	0-2,3	0-0,2		0,01-1	0,01-1			0-2,5		0,1		0,35	0,10	
P ₂ O ₅								0,8		0,50	0,20	0,35		
LiO ₂								2,4			0,5		0,7	
SnO ₂								0,1		0,1			0,1	
TiO ₂				0,01-5	0,01-5			1,4		0,1	0,25		0,20	
CeO ₂			0,1					0-1,3		0,3	0,3	0,1		
Nd ₂ O ₃								0-0,3						
V ₂ O ₅								0-0,5						
CsO											0,5			
Nb ₂ O ₅											0,45		0,20	
La ₂ O ₃													0,50	
Y ₂ O ₃													0,10	
Ta ₂ O ₅													0,20	
Gd ₂ O ₃													0,15	
WO ₃											0,10		0,3	
GeO ₂											0,20			
Bi ₂ O ₃											0,60			

Kaynak: [132, Özel 2008]

2,9 Mineral yün

[27, EURIMA 1998] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996] [89, EURIMA Önerileri 2007] [133, EURIMA Katkıları Kasım 2008]

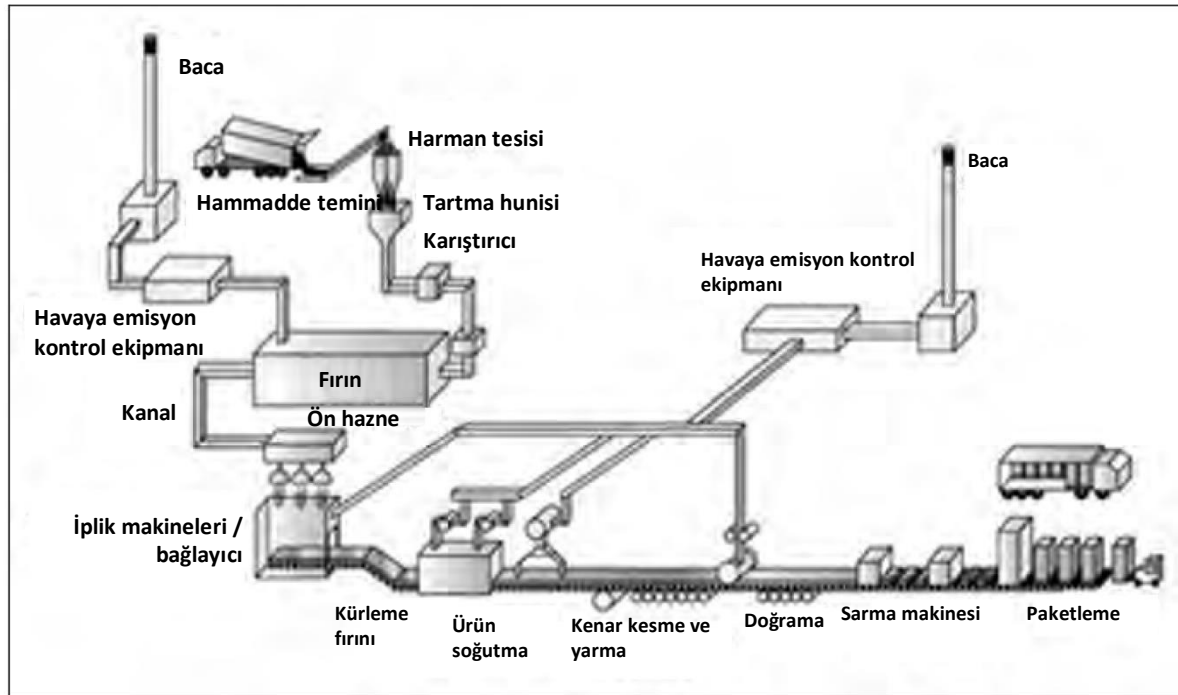
Mineral yün üretimi şu aşamalardan oluşur: Hammaddenin hazırlanması, ergitme, eriyiğin elyaflaştırılması, bağlayıcı uygulaması, ürün keçesi oluşumu, kürlleme, soğutma, ürünün bitim işlemleri. Mineral yün, cam yünü ve taş/cüruf yünü olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir. Ürünler temelde aynı uygulamalarda kullanılır farklılık aslen hammadde ve ergitme yöntemleri bakımından görülür. Ergitme aşamasını takip eden süreçler ve çevresel sorunlar temelde aynıdır. Mineral yünün karakteristik formülasyonları aşağıdaki Tablo 2.9'da verilmiştir. TiO_2 , P_2O_5 ve demir oksitlerin, camın istenen veya gerekli bileşenleri olmadığını, basit safsızlıklar olarak ortaya çıktıklarını unutmayın. Bu nedenle, cam ve taş yününde elde edilen seviyeler, hammaddelerin kalitesine bağlı olacaktır ve tabloda belirtilen değerler, bulunan aralıkların uç noktalarıdır.

Tablo 2. 9: Tipik mineral yün bileşimleri

Mineralyün	SiO_2	Alkali oksitler	Toprak alkali oksitler	B_2O_3	Demir oksitler	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5
Cam yünü	57 - 70	12 - 18	8 - 15	0 - 12	<0,5	0 - 5	Eser miktarda	0 - 1,5
Taş yünü	38 - 57	0,5 - 5	18 - 40	Eser miktarda	0,5 - 12	0 - 23	0,5 - 4	0 - 1,5
Cüruf yünü	38 - 52	0,5 - 3	30 - 45	Eser miktarda	0 - 5	5 - 16	<1	Eser miktarda

2.9.1 Cam yünü

Cam yünü üretimi için tipik bir tesis Şekil 2.10'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 10: Tipik bir cam yünü tesisi

Cam yünü üretimi için hammaddeler esas olarak karayolu tankerleri ile sevk edilir ve pnömatik olarak depolama silolarına taşınır. Her işlemde çeşitli hammaddeler kullanılır ve harmanın kesin formülasyonu işlemler arasında önemli ölçüde değişebilir. Cam yünü üretimi için temel malzemeler arasında kum, soda külü, dolomit, kireçtaşı, sodyum sülfat, sodyum nitrat ve bor ve alümina içeren mineraller bulunur.

Çoğu proses ayrıca proses cam kırıklarını da hammadde olarak kullanır. Proses cam kırıkları, elyaflaştırma işlemi kesintiye uğradığında fırından gelen eriyik akımının suyla söndürülmesiyle üretilen kırılmış camlardır. Proses cam kırıkları, son ürünle tamamen aynı formülasyona sahiptir ve kolaylıkla fırına geri dönüştürülür. Cam ambalaj ve soda-kireç-silika düz cam gibi diğer cam kırığı biçimlerinin de hammadde olarak kullanımı yaygındır. Bu tür malzemelerin geri dönüşümü daha zordur ve kullanımı büyük ölçüde sağlanan malzemenin maliyet, bileşim, saflık ve kıvamlılığına bağlıdır. Cam seramikler, cam kırıklarının hammadde olarak kullanımını kısıtlayan faktörlerden birdir. Diğer cam türleri açısından, geri dönüştürülen cam kırıklarında cam seramiğin bulunması giderek büyüyen bir sorun haline gelmektedir. Bir takım üreticiler ayrıca işlenmiş lifli atıkları ve fırın atık gaz akışından toplanan tozu da ergiticiye geri dönüştürmektedir.

Atığın büyük kısmının sahip olduğu lifli yapı nedeniyle, başka işlemler yapılmadan geri dönüştürülmeleri mümkün değildir. Hammaddeler, cam fırınına toz halinde veya tanecikli olarak yüklenir, bu nedenle, atık malzeme yüklenmeden önce çekilmeli veya peletlenmelidir. Bu genellikle bir çeşit frezeleme işlemi ile sağlanır. Atık ürün ve filtrelenebilir atık, kayda değer düzeyde organik bağlayıcı içerir. Atığın karbon içeriğinin, cam fırınında bir dizi probleme yol açma potansiyeli vardır. Bunlardan bazıları azalan ısı transferi, köpürme, eergitme koşullarının kararsızlaşması ve fırın kimyasının değişikliğe uğramasıdır. Bu sorunlar hafifletilebilir ancak fırına geri dönüştürülebilecek atık miktarının bir sınırı vardır. Ayrıca, oksitleyici olarak sodyum veya potasyum nitrat eklemek gerekebilir ve bu malzemelerin ayrışması, azot oksit emisyonlarını gözle görülür şekilde artırabilir.

Çeşitli hammaddeler otomatik olarak tartılır ve hassas bir harman formülasyonu elde etmek üzere karıştırılır. Daha sonra, karıştırılan harman fırına eklenmeden önce bir ara depolama silosuna aktarılır.

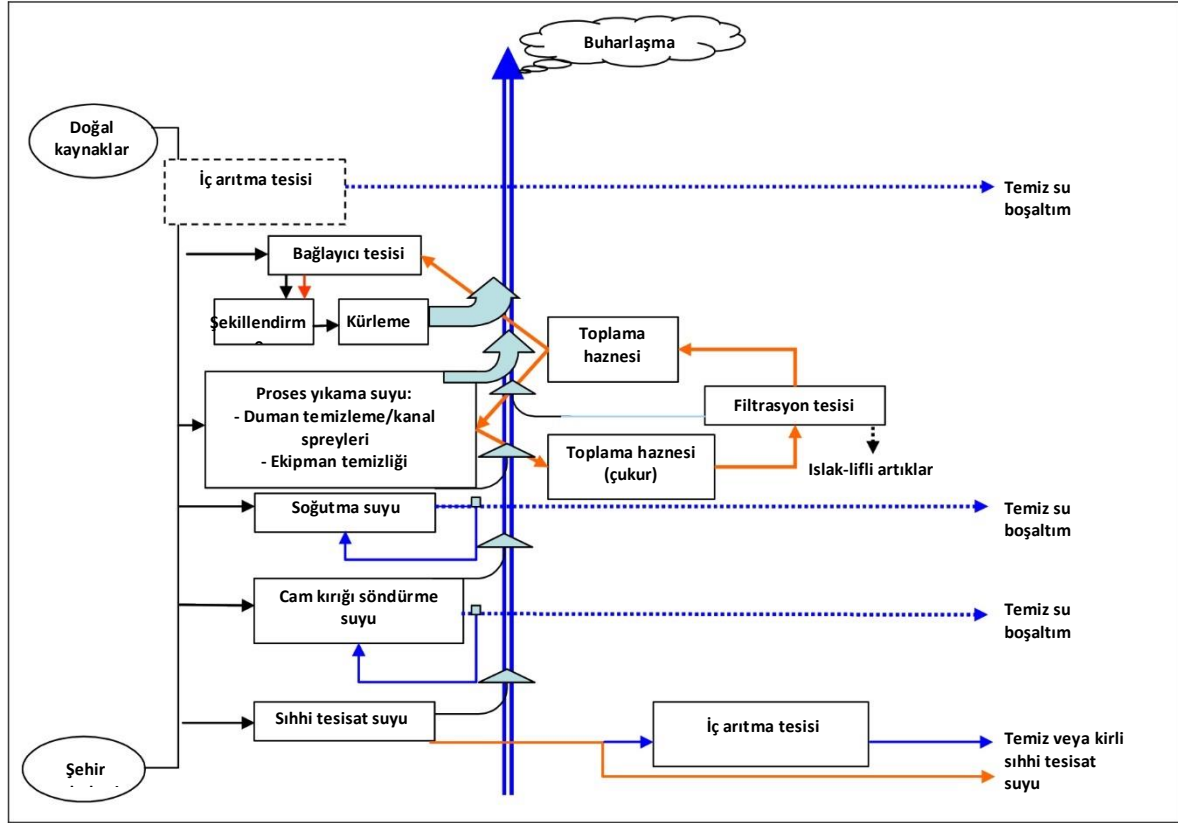
Birkaç nadir istisna dışında, elektrikli ısıtmalı fırın, konvansiyonel gaz ateşlemeli reküperatif fırın ya da daha az yaygın olarak oksijen-gaz fırınından biri kullanılacaktır. Bu teknikler yukarıda 2.3 kısmında daha ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Eriyik cam akışı, fırından ısıtılmış refrakter astarlı besleme oluğu boyunca akar ve belirli bir sayıdaki (genellikle bir ila on) tek delikli burçlardan özel olarak tasarlanmış santrifüjlü döndürücülere dökülür. Dönen eğiricinin merkezkaç hareketiyle gerçekleşen birincil elyaflaştırmada, bir dairesel brülörden gelen sıcak alev gazları daha fazla inceltme sağlar. Bu işlemle çeşitli uzunluklarda ve çaplardaki rastgele iç içe geçmiş liflerden oluşan bir tül üretilir. Tül, lifleri üzerine fenollü reçine bazlı bir bağlayıcı ve mineral yağ çözeltisi püskürten bir bağlayıcı spreynin halkasından geçirilerek, bitmiş ürüne bütünlük, esneklik, dayanıklılık ve işleme kalitesi sağlamak amaçlanır.

Bağlayıcı, çok geniş bir yüzey alanına sahip lifleri yeterince kaplamasını sağlamak amacıyla suyla yüksek oranda seyreltilir. Su, bağlayıcı için bir taşıyıcı görevi görür ve daha sonra buharlaştırılır.

Reçine kaplı lifler, bir elyaf yatağı oluşturmak üzere hareket eden bir konveyörün üzerine vakum altında çekilir. Ardından bu yatak, ürünü kurutan ve bağlayıcıyı kürleyen, yaklaşık 250 °C sıcaklığında gazlı bir fırından geçer. Ürün daha sonra hava ile soğutulur ve ambalajlamadan önce istenen boyuta göre kesilir. Kesinen kenarlar ufalanabilir ve elyaf tülün içine geri üflenebilir, veya gevşek bir yün ürünü oluşturmak için fazlalık ürünle birleştirilebilir. Bazı ürünler fırında kürlenme yapılmadan üretilir, örn. mikrodalga kürlenmeli, sıcak presli, kürlenmesiz veya bağlayıcısız ürünler. Ayrıca hat üzerinde yapıştırıcı ile uygulanan bir kaplama, örneğin alüminyum folyo veya cam tülü uygulamasıyla, bir takım lamine ürünler de üretilir.

Aşağı yöndeki proses kanallarının çoğuna su püskürtülür. Burada amaçlanan, yangın veya tıkanmalara neden olabilecek lifli ve reçineli malzeme birikimini önlemek ve sürüklenen malzemenin baca gazından uzaklaştırılmasıdır. Su ayrıca toplama bandının ve tesisin diğer kısımlarının temizliğinde de kullanılır. Proses suyu sistemi genellikle kapalı bir döngüdür; su toplanır, filtrelenir ve kanallara püskürtülen su, temizleme suyu ve bağlayıcı seyreltici olarak tekrar kullanılır. Tipik bir cam yünü proses suyu devresi aşağıdaki Şekil 2.11'de gösterilmektedir. Suyun önemli bir kısmı şu üretim işlemlerinden buharlaşır: bağlayıcı püskürtme, atık gaz temizleme, soğutma ve ekipman temizliği.



Şekil 2.11: Tipik cam yünü proses suyu devresi

Normal işletimdeki tipik bir cam yünü tesisi için genel su dengesi, üretilen ton yün başına 3 ila 5 m³ su tüketimi vermektedir (ayrıca bkz. 3.8.3 kısmı). Bu suyun hemen hemen tümü, gazla taşınan su damlacıkları veya buhar halinde, bacalar veya genel buharlaşma yoluyla tesisi terk eder.

Bununla birlikte, cam yünü işleminde fiilen kullanılan suyun iç akışının çok daha yüksek olması ve 100 m³/ton cama ulaşabilmesi için, proses yıkama suyu sistemi içinde su sürekli olarak yeniden sirküle edilir. Bu su akışının çoğunluğu (tipik olarak %70'i) şekillendirme bölümlerinde ve ilgili kirlilik kontrol ekipmanlarında kullanılır.

Bu proses yıkama suyu, çözünmüş organikler ve katılar (esas olarak lifler) içerir. Bir tesisteki çözünmemiş katı maddeler; siklonlar, sabit veya titreşimli elek filtreler, santrifüj filtreler veya benzeri ekipmanlar kullanılarak giderilir. Çözünmüş organiklerin aşırı derişimini önlemek için, proses yıkama suyundan bir miktar su çekilir, yeniden filtrelenir ve ürünle birleştirilecek bağlayıcı karışımına verilir. Böylelikle, belirli bir bağlayıcı formülasyonu ve ürün bağlayıcı içeriği için çözünmüş katı içerik dengesi kurulur.

Baca gazı yıkama verimliliği çözünmüş katıların derişimine bağlı olduğundan, yıkama suyunun özellikleri periyodik olarak izlenir; kullanılan bağlayıcıların formülasyonu ve miktarı ile yılın hava durumu/mevsimi gibi parametrelere bağlı olarak değişkenlikler önemli olabilir.

Diğer su kullanımları için hava soğutma, ters ozmoz, iyon değişimi ve yağdan arındırma gibi arıtma sistemleri uygulanmaktadır.

Bağlayıcı tesisi temizliğinden, tank çiftliği setlerinden veya ikincil temizleme işlemlerinden çıkan proses atık suları, tesis içinde yıkama suyu sistemine geri dönüştürülebilir; veya yerel düzenlemeler doğrultusunda kanalizasyona boşaltılmadan önce çöktürülebilir ve arıtılabilir. Mutabık kalınan acil durumlar dışında genellikle bir tesisten atık su boşaltımı olmaz. İzin verildiği koşullarda bir kirli su kanalına boşaltım olabilir. Azami su emisyonu tipik olarak günde 50 tondur (ayrıca bkz. Bölüm 3.8.3). Üretilen cam yününden bir dizi ikincil ürün imal edilebilir. Bu ürünler arasında, üflemleri kurulumlar için ufalanmış yalıtım yünü; sonraki işlemlere tabi tutulmak üzere, müşterilere tedarik için paketlenmiş kürlenmemiş yün; ve lamine veya kaplamalı ürünler bulunmaktadır. Önemli ikincil ürünlerden biri, genellikle kürlenmemiş yünün pres kalıplama ve kürleme ile asıl işleminden ayrılmasıyla üretilen boru yalıtkanıdır. Alternatif olarak yün, bir silindir oluşturacak şekilde, geri çekilebilir ısıtılmış millere sarılabilir; bu şekilde genel kürleme aşamasına gönderilmeden önce dış cidarın oluşmasını sağlamak üzere ısıl işleme tabi tutulabilir.

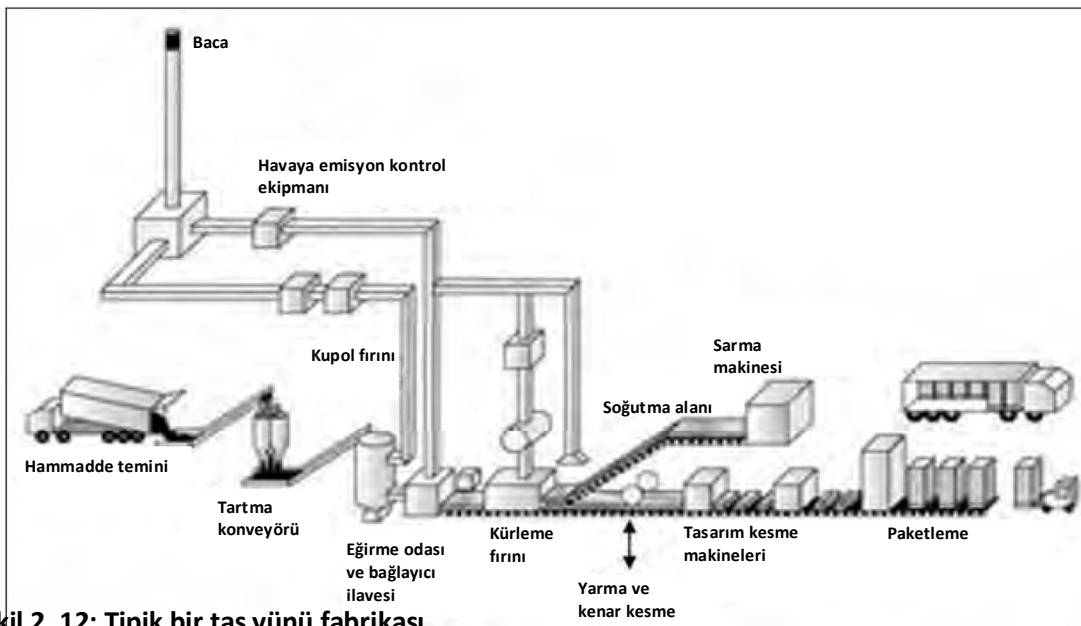
Uygulama verimliliğini artıran, reçinenin yüne yapışmasını destekleyen, toz oluşumunu baskılayan, su direnci sağlayan ve bağlayıcının seyretilmesine yardımcı olan belirli katkı maddeleri ile, kısmen polimerleşmiş reçine karıştırılarak bağlayıcı hazırlanır. Bağlayıcı, tüle uygulanmadan önce önemli miktarda suyla (mevcutsa proses suyu) seyretilir.

En yaygın olarak kullanılan reçine, fenol, formaldehit ve bir katalizörün termoset ürünüdür. Reçine su bazlıdır ve tipik olarak %50'ye kadar katı içerir. Bağlayıcı kimyasının daha ayrıntılı bir açıklaması 4.5.6.1 kısmında verilmektedir. Reçine, uzman üreticilerden ithal edilebilir veya mineral yün üreticisi tarafından tesiste üretilir. Tesiste reçine üretimi genellikle, istenen düzeyde polimerizasyon ve katıyı sağlamak üzere, hammaddelerin termal kontrol altında reaksiyona sokulduğu kesintili bir prosestir. Reçine üretimi kimyasal bir işlem olarak kabul edilir ve bu belgenin kapsamında ele alınmamaktadır.

2.9.2 Taş yünü

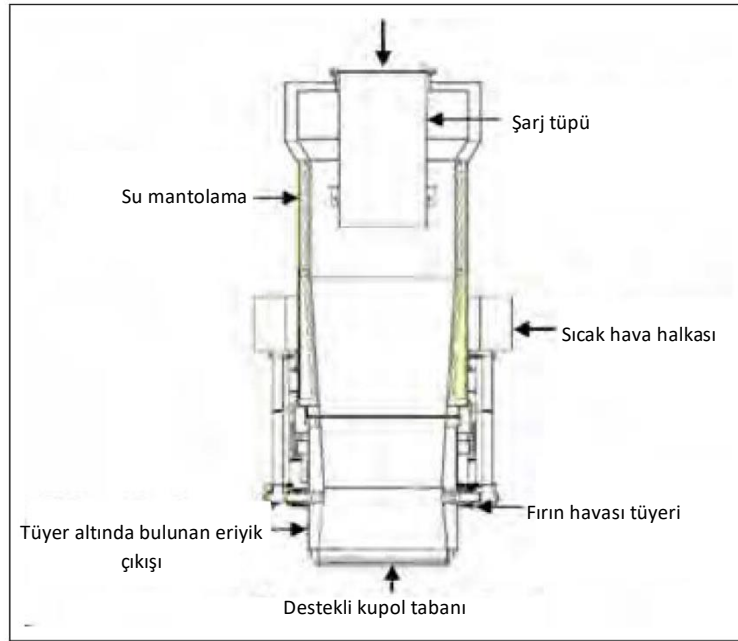
[89, EURIMA Önerileri 2007][133, EURIMA Katkıları Kasım 2008]

Taş yünü için tipik bir üretim tesisi Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 12: Tipik bir taş yünü fabrikası

Geleneksel taş yünü üretimi için en yaygın ergitergitme tekniği, çalışma şekli itibariyle bir çelik üretim yüksek fırınıyla kıyaslanabilir nitelikte olan, kokla çalışan sıcak hava kupol ocağıdır. Bu teknik, alümino-silikat taşının (genellikle bazalt), kireçtaşı veya dolomit ile, bazen de yüksek fırın çamuruyla karıştırılarak ergitilmesini içerir. Fırında, ısı aktarım süreçlerinin sürdürülmesini sağlayan, hava geçiren bir malzeme sütunun oluşmasına imkan sağlamak amacıyla, kayalar topak halinde verilir. Harman aynı zamanda, kaya topağına benzer boyuttaki briketler halinde bağlanmış, geri dönüştürülmüş proses veya ürün atıklarını da içerebilir. Kupol, refrakter astarlı ve altı kapalı olabilen, silindirik bir çelik mantodan (tüp) oluşur. Sıcak hava kupol fırınının bir temsili Şekil 2.13'te gösterilmektedir.



Şekil 2.13: Tipik bir sıcak hava kupol fırını

Fırının yüzeyinin tamamı, açık ve konvektif bir soğutma suyu döngüsü vasıtasıyla suyla soğutulur. Hammaddeler, briketler ve kok; topak şeklinde, kupolun tepesine katmanlar veya karışık bir harman halinde yüklenir ve fırın tüpünü doldurur. Fırının tabanındaki kokun ateşlenmesiyle taş malzemelerin ergitildiği bir yanma bölgesi oluşturulur. Genellikle bir ilave işlem ısı eşanjöründe önceden ısıtılan ve bazen oksijenle zenginleştirilen hava, fırın duvarındaki tüpler (tüyerler) vasıtasıyla kupol tabanından yaklaşık 1 ila 2 metre yükseklikteki yanma bölgesine enjekte edilir. Yaklaşık 2000 °C sıcaklığındaki bu bölüm, kupolun en sıcak kısmıdır. Eriyik haldeki malzeme fırının dibinde toplanır ve bir yarıktan, döndürme makinesinin üzerinde konumlandırılmış kısa oluk boyunca akar. Ardından, fırında yükselen gazlar tarafından önceden ısıtılmış, yanma bölgesinin üzerinde kalan malzeme bölgeye düşer, ve yerini üstten verilen taze hammadde alır. Bu sayede kupol, içeriği boşaltılmadan önce iki veya üç hafta boyunca neredeyse sürekli olarak erimiş kaya üretebilir. Bazalt ve daha az oranda yüksek fırın cürufu, demirüç (Fe^{3+}) ve demiriki (Fe^{2+}) halinde demir içerir. Kupolun bazı kısımlarındaki indirgeyici koşullar altında, ferrik/ferröz demir, metalik demire indirgenir. Kupolun dibinde toplanan bu materyalin, yarıktan aktığı noktaya kadar birikmesine izin verilirse, oldukça pahalı olan eğirme makinesi zarar görebilir. Bunu önlemek için, kupolun tabanı delinerek demir periyodik olarak boşaltılır (dökülür). Demir, kupolun altındaki atık alanına düşerek taş atıklarla karışmadan önce, uygun şekilde konumlandırılabilen özel bir kalıp aracılığıyla toplanabilir. Bu şekilde, ayrılan demirin harici geri dönüşümü sağlanabilir.

Sıcak hava kupollarına hammadde şarj edildikçe, gevşek veya tozlu materyaller yükselen sıcak hava tarafından kupolun yukarısına ve dışına taşınabilir. Daha önce belirtildiği gibi, gevşek malzemeler de yatağın gözenekliliğini olumsuz etkileyebilir ve fırın havasının akışını bozabilir. Bu sorunun kabul edilen çözümü, malzemeyi öğütmek ve diğer hammaddeler ile benzer boyutta briketler üretmektir. Çimento, genellikle briketlerde kullanılan bağlayıcıdır, ancak içeriğindeki kükürt nedeniyle daha yüksek kükürt dioksit emisyonlarına yol açabilir. Bununla birlikte, briketlemenin diğer avantajları da vardır; örneğin daha düşük enerji kullanımı ve harmana özellikle döküm kumu gibi diğer ince malzemelerin eklenebilmesi.

Eriyik, döndürme makinesinin hızla dönen tekerleklerine bırakılır ve ince bir püskürtü halinde çekilmesiyle lifler üretilir. Lifleri inceltmek ve yatak oluşturmak üzere toplama bandına yönlendirmek için dönen tekerleklerin arkasından hava püskürtülür. Sulu bir fenollü reçine çözeltisi, döndürme makinesinin üzerindeki bir dizi püskürtme ağzından elyafların üzerine püskürtülür. Şiddetli ekstraksiyonun etkili olduğu toplama kayışının üç işlevi vardır; elyafın kayışın üzerine çekilmesi, elyaflaştırma haznesindeki kirli havanın giderilmesi, fenollü bağlayıcının döşek üzerine yayılması. Fenollü reçine, cam elyaf yalıtkanlarda olduğu gibi ürüne sağlamlık ve şekil kazandırır. Birincil keçe, birim alan başına gerekli ürün ağırlığını verecek şekilde katmanlanmıştır. Tek aşamada ürün için istenen ağırlığı verebilen, uzun hazne şekillendirme prosesi de kullanılabilmeyle beraber çok daha nadir uygulanır.

Keçe, ürün kalınlığını ayarlayan, ürünü kurutan ve bağlayıcıyı kürleyen, yaklaşık 250 °C'deki bir fosil yakıtlı fırından geçer. Ürün daha sonra hava ile soğutulur ve ambalajlamadan önce istenen boyuta göre kesilir. Boru yalıtkanı ve bazı ikincil ürünler, 2.9.1 kısmında cam yünü işlemi için açıklanan şekilde üretilebilir.

Reçine ve elyaf birikmesini önlemek, yangın riskini azaltmak ve baca gazından sürüklenen malzemeyi uzaklaştırmak için kanala su püskürtülebilir. Su aynı zamanda çeşitli temizlik işlemleri için de kullanılır. Cam elyaf yalıtkan üretiminde olduğu gibi proses suyu toplanır, filtrelendir ve tekrar kullanılır.

Taş yünü, alevli fırınlar ve daldırılır elektrikli ark ocakları kullanılarak da üretilebilir. Elyaflaştırma da dâhil olmak üzere, diğer süreç işlemleri aynıdır. Taş ve cüruf yünü üretiminde kullanılan alevli fırınların tasarımı ve işletimi, temelde cam yünü üretiminde kullanılanlar ile benzerdir. Fırın, çapraz veya arkadan ateşlemeli fosil yakıtlı brülörler ile ısıtılan bir refrakter tanktan oluşur. Ergitme alanları 100 m²'ye kadar çıkabilir. Yine metalik demir, hammaddelerden indirgenir ve demir fırının tabanındaki delikli bir burç gibi yollarla boşaltılması gereklidir.

Taş yünü üretiminde kullanılan daldırılır elektrikli ark ocağı; refrakter astarlı olabilen ve yağ veya su ile soğutulan silindirik bir çelik kaplamadan oluşur. Elektrotlar, fırının üzerinden eriyik kütleye daldırılır ve dirençli ısıtma ile ergitme enerjisi sağlar. Hammaddeler, eriyiğin yüzeyini bir malzeme örtüsü ile kaplamak için yukarıdan verilir (soğuk başlıklı). Ancak elektrot düzenlemesi nedeniyle, elektrotların etrafında her zaman açık bir eriyik banyosu bulunur. Alternatif olarak, elektrikli fırın, eriyik yüzeyinin (sıcak başlıklı) kısmen kaplanmasıyla da çalışabilir. Grafit elektrotların kullanılmasıyla, hammaddelerden az miktarda serbest metalik demir indirgenir. Demir boşaltılması gerekli olmakla birlikte, bunun sıklığı kupol fırınlarına göre çok daha azdır (haftada bir veya daha az).

2,10 Yüksek sıcaklık yalıtımlı cam yünleri (ASW/RCF ve AES)

[9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996][71, VDI 3469-5 2007] [116, ECFIA 2008] [129, EN 1094-1 2008]

Hem alkali toprak silikat (AES) yünler, hem de amorf alüminyum silikat yünler/refrakter seramik elyaflar (ASW/RCF), elektrikli dirençli eergitme yoluyla üretilir. Hammaddeye eklenen alkaliler ve alkali topraklar nedeniyle, AES cam yünlerinin erime sıcaklıkları 1600°C'nin altındadır. Buna karşılık, hammaddelerin yüksek saflığının bir sonucu olarak, ASW/RCF cam yününün erime sıcaklıkları 2000°C civarındadır.

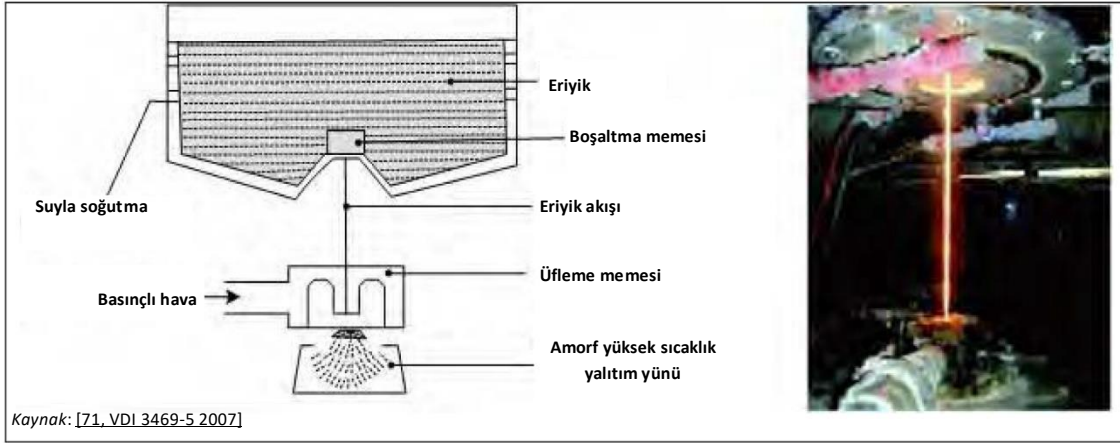
Bu proses, yünlerin üretimi ve yünlerin ürün ve nesnelere dönüştürülmesi olarak iki kısma ayrılabilir. Amorf HTIW (ASW/RCF ve AES) için tipik kimyasal bileşimler Tablo 2.10'da gösterilmektedir.

Tablo 2. 10: ASW/RCF ve AES için kütle yüzdesi olarak tipik kimyasal bileşim aralıkları

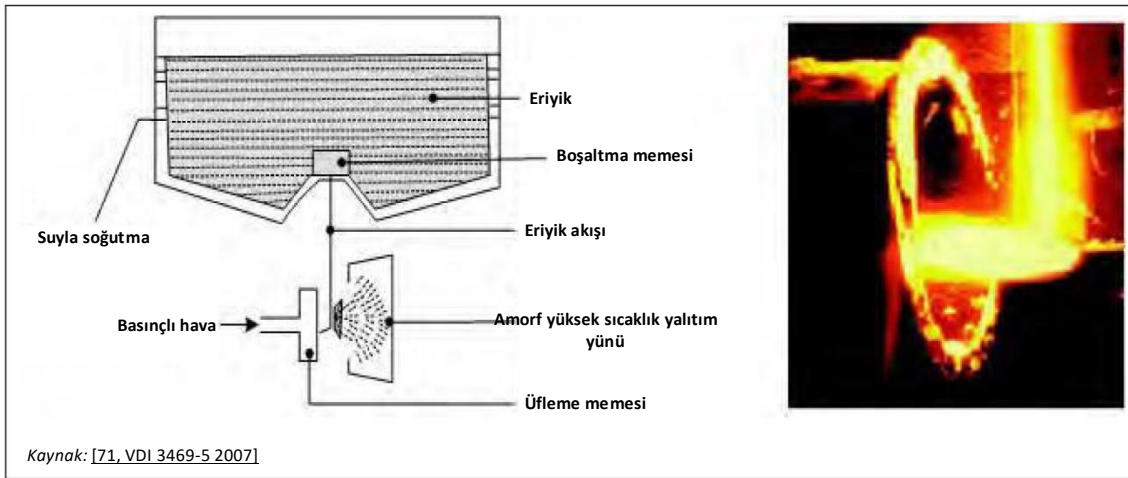
AES için kütle yüzdesi olarak tipik kimyasal bileşim aralıkları			
Ürün tipi	SiO ₂	CaO+MgO	ZrO ₂
Kalsiyum silikat cam yünleri	70 - 80	18 - 25	
Kalsiyum magnezyum silikat cam yünleri	60 - 70	25 - 40	
Kalsiyum magnezyum zirkonyum silikat cam yünleri	60 - 70	25 - 40	3 - 7
Magnezyum silikat cam yünleri	70 - 80	18 - 27	
ASW/RCF için oksit kütle yüzdesi olarak tipik kimyasal bileşim aralıkları			
Ürün tipi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
Alüminyum silikat cam yünleri (yüksek saflıkta)	48 - 54	46 - 57	
Alüminyum zirkonyum silikat cam yünleri	47 - 50	35 - 36	15 - 17

Alüminyum, kalsiyum, magnezyum, silisyum ve zirkonyum oksitleri yığın karayolu tankerleriyle teslim edilir ve pnömatik olarak yığın depolama silolarına aktarılır. Organik katkı maddeleri de dâhil olmak üzere daha küçük hacimli hammaddeler, varil veya çuvalar ile alınır ve dağıtılır. Yığın haldeki hammaddeler, depodan gerekli bileşimi oluşturmak üzere karıştırıldıkları harmanlama tesisine aktarılır. Harmanlanan malzeme fırına aktarılır ve burada ASW/RCF için 2000°C'ye, AES için 1600°C'ye varan sıcaklıklarda elektrik dirençli ısıtma ile ergitilir. Fırınlara yaklaşık 1 metre derinliğinde, 2 - 3 metre çapındadır ve ergitilmemiş harman malzemelerle kaplanan üst kısmı açıktır.

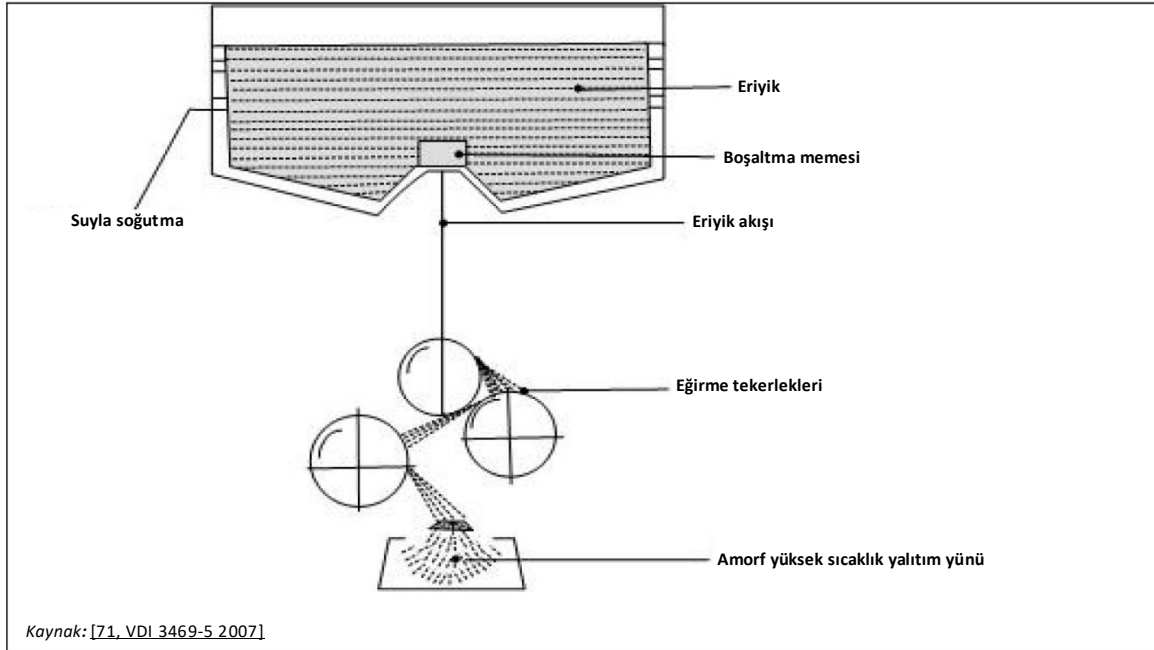
Amorf yüksek sıcaklık yalıtım yünü, eriyik üflenerek veya eğrilerek üretilir (bkz. Şekil 2.14, Şekil 2.15 ve Şekil 2.16).



Şekil 2. 14: Paralel üfleme yöntemi



Şekil 2. 15: Yatay üfleme yöntemi



Şekil 2. 16: Eğirme prosesi

Fırından gelen eriyik akışları, lifleri bir toplama haznesine püskürten yüksek hızlı tekerleklerin üzerine veya eriyik malzemeyi elyaflar halinde incelten bir yüksek basınçlı hava jetinin önüne düşer. Her iki durumda da liflere bağlayıcı uygulanmaz, ancak içnelemeye yardımcı olan az miktarda yağlayıcı ilave edilebilir.

Elyaf üretimi kesintiye uğrarsa, eriyik akımı durdurulmaz; suda söndürülür ve mümkün olduğu ölçüde proseste yeniden kullanılır.

Yünler, toplama haznesinden vakum uygulanabilen ve sürekli hareket eden bir banda çekilir. Ortaya çıkan yün, serildiği bant üzerinden alınabilir, balyalanabilir ve paketlenebilir veya battaniye oluşturmak üzere üretim hattında devam etmesine izin verilebilir. Bu malzeme, ürün olarak balyalanabilir veya mukavemetini artırmak için lifler içnelenerek keçe haline getirilebilir. İçnelenen ürün, battaniye olarak sarılmadan veya belirli ebatlardaki parçalar halinde kesilmeden önce yağlayıcıyı gidermek üzere fırından geçirilebilir.

Diğer ilave işlemler de gerçekleştirilebilir. Vakumlu şekillendirme işleminde, uygun şekilli kalıplara nişasta, lateks, silika veya kilden oluşan ıslak bir koloidal karışım uygulanır. Kalıplanan şekil genellikle gazlı bir fırında kurutulur; paketlenme ve sevkiyattan önce kabartılarak veya düzeltilerek belirli boyutlarda kesilebilir. Kağıtlar, keçeler ve levhalar da üretilebilir. Bunun için sulu elyaf süspansiyonu vakumlu bir tambur üzerine serilir ve ardından fırında kurutulur. Sulu süspansiyona bağlayıcılar ve katkı maddelerinden oluşan bir karışım da eklenebilir.

2.11 Fritler

[9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996] [47, ANFFECC 1999] [92, ITC - C071603 2007] [98, ANFFECC Frit Sektörünün Konumu 2005] [134, ANFFECC 2008]

Cam fritler, seramik sır üretiminde hammadde olarak kullanılmaktadır. Bu, seramik gövdeye uygulanan ve ısı uygulanarak ergitilen camsı bir kaplamadır. Benzer şekilde emaye fritler de emaye üretiminde kullanılan bir hammadde. Dekoratif ve/veya koruyucu amaçlarla metallere uygulanır. Sırlar ve emayeler kuru veya ıslak olarak uygulanabilir; ancak ıslak uygulama daha yaygındır ve genellikle bir bulamaç veya çamur formundadır.

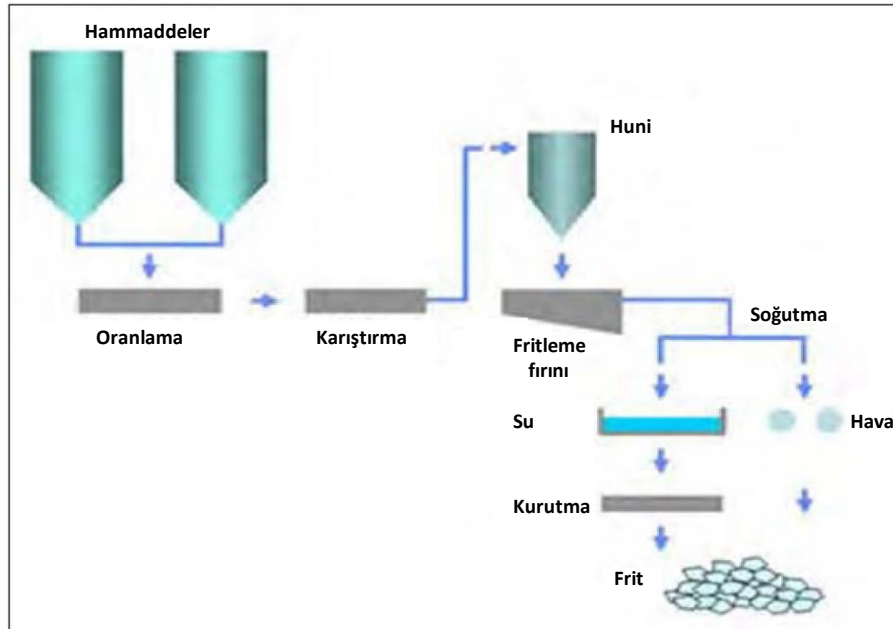
Fritleme işleminde, suda çözünür hammaddeler çözünmez bir cam oluşturmak üzere ergitilir, böylece sonraki işlemler sırasında bu malzemelerin sır veya emaye süspansiyonunda eşit dağılımının korunması kolaylaşır. Sır veya emaye üretiminde kullanılan bazı hammaddeler hem toksik, hem de çözünür özelliktedir. Bu malzemelerin çözünmez bir cama dönüştürülmesi, toksik maddelerin çözünmesini ve dolayısıyla çevreye salınım potansiyelini en aza indirir.

2.11.1 Frit üretim süreci

Fritler, hammaddelerin bir ergitme fırınında 1550°C'ye varan yüksek sıcaklıklarda ergitilmesiyle hazırlanır. Malzeme daha sonra suda söndürülür, böylece katı, çözünmeyen, parçalanmış bir malzemeye dönüştürülür.

Frit üretiminde, gövdeyi oluşturan (kil, feldispat, kuvars vb.) ve ergitme ile cam oluşumunu tetikleyen (soda külü, potas, boraks vb.) çeşitli hammaddeler kullanılmaktadır. Ayrıca emayelere istenilen görünümü vermek için donuklaştırıcı maddeler (titanyum oksitler ve zirkonyum oksitler, flor bileşikler) ve renklendirici maddeler (oksitler, elementler veya tuzlar) kullanılmaktadır.

Seramik frit (cam frit) üretimi sektörün (seramik frit ve emaye) toplam üretiminin yaklaşık %95'ini oluşturmaktadır. Frit üretim sürecinin şematik bir temsili Şekil 2.17'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 17: Frit üretim sürecinin şematik bir temsili

2.11.2 Frit üretiminde kullanılan ergitme fırınları

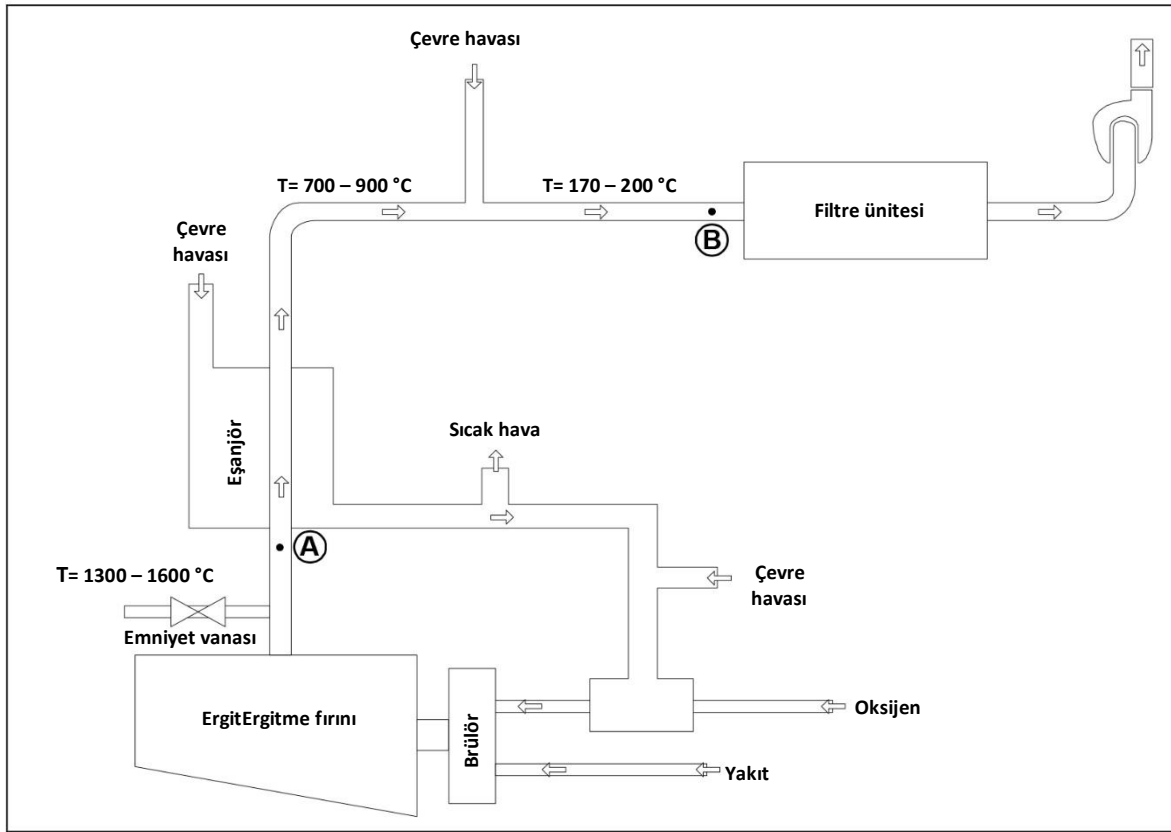
Seramik frit endüstrisinde daha çok sürekli ergitme fırınları kullanılırken, süreksiz fırınlar ise nadiren kullanılmaktadır. Fırın türü seçimi, üretimin ölçeğine ve ürün formülasyonuna bağlıdır. Olağan süreç, üretimdeki sık değişikliklere uyum sağlamak için yüksek esneklik gerektiren, küçük ergitme fırınlarında çok çeşitli frit formülasyonlarının üretilmesini içerir. Modern frit fırınlarının çoğu genellikle doğal gazla çalıştırılır ve yakma için kullanılan oksijen içeriğine bağlı olarak farklı yakma seçenekleri mevcuttur. Geleneksel hava-gazlı yanmaya ek olarak, çoğunlukla İtalya'da olmak üzere Avrupa'daki bütün fırınların %15'ine denk gelen önemli bir kısım fırın oksi-fuel yanma kullanmaktadır. Ergitme fırınında daha yüksek bir sıcaklık sağlamak ve bunun sonucunda üretim hızını artırmak amacıyla yanma havasının değişken miktarlarda oksijen ile zenginleştirilmesi, özellikle İspanya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Farklı yanma seçenekleri arasından seçim, formülasyon/ürün tipine ve ergitme işlemi için gereken sıcaklığa bağlıdır.

Frit üretimi için fırınlar normalde hem oksitleyici bir atmosfer hem de eriyiğin akışını sağlamak için hafif negatif basınç altında çalıştırılır. Bu durum parazit havasının fırına girmesine olanak tanır, böylece çevresel amaçlar için yakıt/hava (oksijen) oranının optimizasyonu daha zor hale gelir.

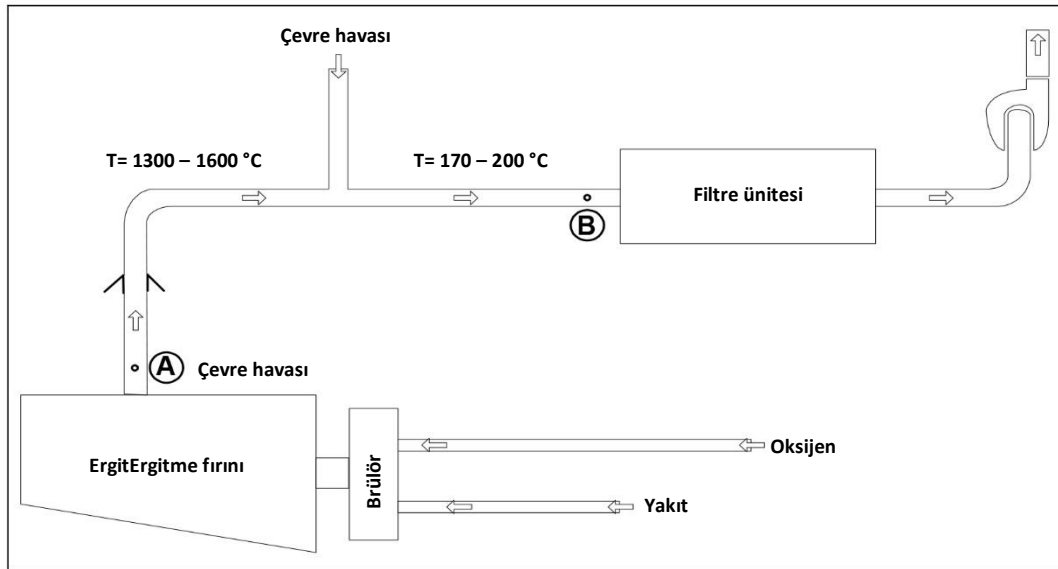
Oksi-yakıtla ateşlenenler hariç, çoğu fırın bir ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır. Yanma havası 470 – 570 °C'ye kadar önceden ısıtılır. Isı eşanjöründen sonra, baca gazlarının sıcaklığı bir kirlilik giderme ünitesine (normalde bir torbalı filtre) girmek için hala çok yüksektir, bu nedenle soğutma için taze hava ilavesi gereklidir.

Çoğu durumda, ergitme fırınları tarafından salınan baca gazları tek bir kirlilikten arındırma sisteminde toplanır veya toplu formülasyonların özelliklerine göre gruplandırılarak tesiste bulunan bir dizi kirlilikten arındırma birimine yönlendirilir. Farklı yakma teknikleri (oksi-yakıt, oksijenle zenginleştirme, yakıt/hava) kullanılarak farklı fırınlardan elde edilen baca gazlarının kombinasyonu, çıkışa gelen baca gazında yüksek oksijen derişimine (normalde %14-19 aralığında, daha yüksek olabilir) neden olur.

Oksijenle zenginleştirilmiş, yakıt/hava yanması ve ısı geri kazanımı ve oksi ve oksi-fuel yanma içeren, frit üretimi için tipik ergitme fırınları Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da gösterilmektedir.



Şekil 2. 18: Oksijenle zenginleştirilmiş, yakıt/hava yanması ve ısı geri kazanımı ve oksit ve oksit-yakıt yakma içeren, frit üretimi için tipik ergitme fırınları şematik gösterimi



Şekil 2. 19: Oksi-fuel yanma ve oksit ve oksit-fuel yanma içeren, frit üretimi için tipik ergitme fırınları şematik gösterimi

Harman bileşiminin hazırlanmasında kullanılacak hammaddeler silolarda depolanarak pnömatrik veya mekanik olarak tartım alanına sevk edilebilir. Sadece nadir durumlarda, üreticinin göreceli olarak küçük boyutundan dolayı, bazı hammaddeler çuvalarda saklanır ve tartma cihazına elle yerleştirilir. Çeşitli hammaddeler, fırına yüklenmeden önce kimyasal ve fiziksel olarak her yerinde eşit özelliklere sahip bir harman üretmek üzere, hassas bir şekilde ve otomatik olarak tartılır ve karıştırılır.

Sürekli ergitme fırınlarında hammadde, yükleme noktasında bir yığın oluşturan bir sonsuz vida vasıtasıyla yüklenir. Fırının kenarları boyunca dizilen brülörler, stabilite için uygun termal koşulları sağlayarak, harman bileşimi yığınının sürekli olarak erimesine olanak tanır. Daha küçük ergitme fırınları, bir uçtan basit bir brülör aracılığıyla beslenmelidir. Malzeme erirken, fırının tabanında sıg bir tabaka oluşur ve ergitme fırınının öteki ucundaki çıkıştan dışarı akar. Girişteki hammaddenin sürekli beslenmesi sayesinde üretim sabit kalır.

Ergitilmiş malzeme doğrudan su banyosuna beslenebilir veya fritli bir malzeme üretmek için su soğutma çekmeceleri arasında soğutulabilir.

Ergitme fırınları, bir seviyeye kadar dönmeyi sağlayacak şekilde desteklere monte edilmiş sıralı refrakter tuğlalarla kutu veya silindir olarak şekillendirilir. Bulaşımı önlemek için fırınlar genellikle benzer özelliklere sahip formülasyon türlerine tahsis edilir.

Tipik erime sıcaklıkları 1350 – 1550 °C aralığında olup, düşük sıcaklıklar, düşük erime noktasına sahip ve bileşimlerinde ergitkenler içeren seramik fritler için kullanılır. Fırında kalma süresi, harman bileşenlerinin tümünün eriyik haline dönüşmesi için gereken süre ile belirlenir.

2.11.3 Sır ve emaye üretiminde hammadde olarak fritler

Sırlar, hammaddelerin bir veya daha fazla ince öğütülmüş frit ile karıştırılmasıyla üretilir. Frezeleme ise genellikle su kullanılarak alümina bilyalı değirmenlerde yapılır. Kaolin, renklendirici maddeler, elektrolitler ve donuklaştırıcı maddeler gibi diğer sır bileşenlerinin frezeleme işleminin çeşitli aşamalarında eklenmesi gerekir. Değirmenlerdeki zaman döngüleri 6 ile 16 saat arasında değişmektedir. Frezeleme işleminin ardından, karıştırılan malzeme, metalik safsızlıkları gidermek üzere bir mıknatıs üzerinde ağ elekten geçirilir.

Kuru ürünler için, elde edilen malzemenin kurutulmuş olması gerekir, aksi takdirde kuru frezeleme işlemi kullanılabilir.

3 GÜNCEL TÜKETİM VE EMİSYON SEVİYELERİ

3,1 Giriş

Bu bölümde, 2. Bölümde açıklanan süreçler ve teknikler kapsamında cam sanayiinde karşılaşılan tüketim ve emisyon seviyesi aralıklarına dair bilgi verilmiştir. Girdi ve çıktılar, sanayinin bütünü üzerinden tartışılmış ve ardından her bir sektör özelinde değerlendirmeler yapılmıştır.

Kilit emisyon özellikleri, emisyon kaynakları ve enerjiye dair konular tanımlanmış ve 4. Bölümdeki tekniklerin her biri için ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Verilen bilgiler, herhangi özel bir tesisin emisyon ve tüketim düzeylerinin aynı sektördeki veya bir bütün olarak cam sanayiindeki diğer süreçlerle karşılaştırılmasını mümkün kılmayı amaçlamaktadır.

Cam sanayiinde hammaddelerin çoğu doğal olarak oluşan mineraller veya sentetik inorganik maddelerdir. Kullanılan minerallerin çoğu doğada bol miktarda bulunur ve genel olarak bu malzemelerin tedarikiyle ilişkili önemli çevresel sorunlar yoktur. Bununla birlikte, Direktifte yer alan hususlardan biri, MET doğrultusunda hammadde tüketimini en aza indirmektir. Sentetik hammaddeler genellikle ayrı düzenlemelere tabi sanayilerde üretilir. Proses artıkları ve tüketim sonrası malzemelerin hammadde olarak kullanımı, cam sanayii için özellikle cam ambalaj ve mineral yün sektörlerinde büyük önem arz etmektedir.

Cam sanayiinin bütününe ilişkin çevresel kaygılar, hava emisyonları ve enerji tüketimidir. Cam yapımı, yüksek sıcaklıkta ve yoğun enerji kullanımı ile gerçekleştirilen bir süreçtir ve enerji, doğrudan fosil yakıtların yakılmasıyla, elektrikli ısıtma ile veya bu iki tekniğin birlikte kullanılması ile sağlanır. Genel olarak en önemli emisyonlar azot oksitler, partikül madde, kükürt dioksit, halojenürler (florürler ve klorürler) ve bazı durumlarda metalleri içerir. Cam sanayiindeki çoğu tesis için su kirliliği önemli bir sorun değildir, fakat istisnaların olduğu açıktır. Su, esas olarak temizlik ve soğutma için kullanılır; genellikle kolayca arıtılabilir veya yeniden kullanılabilir. Proses atığı seviyeleri nispeten düşüktür ve birçok katı atık akışı proses içinde geri dönüştürülür.

Bütün bunlarla birlikte, cam sanayii oldukça çeşitli olup, yukarıda verilen özetin basit bir genelleme olduğu ortadadır. Belirli işleme seçenekleri için veya tesisler özelinde istisnai durumlar mevcuttur ve çevresel öncelikler sektörler arasında farklılık gösterebilir. Bu istisnalar, belirli bir sektöre ait oldukları durumlarda, ilgili kısımda ele alınmaktadır. Ancak, tüm tesisler için tüm olasılıklardan bahsetmek mümkün değildir ve bazı tesislerde, bu belgede dikkate alınmamış olan belirli emisyonlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle, proses emisyonlarına dair burada verilen bilgiler kapsayıcı olarak değerlendirilmemelidir. Bu bölümde sunulan bilgiler tüm tesis boyutları ve operasyonları ile ilgilidir, ancak başlatma ve kapatma gibi özel modları içermez. En düşük emisyon değerlerinden bazıları bir tesise ait olup, tesise özgü nedenlerden kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, sektör için kesin MET göstergeleri değildir.

Emisyonlar sektörler ve ayrı tesisler arasında büyük farklılık gösterebilir. Ana faktörler; her bir sektör için hammadde ve ürünlerdeki doğal farklılıklar, proses seçimi (özellikle ergitici opsiyonu), prosesin ölçeği ve uygulanan gideriminin düzeyidir. Farklı sektörlerden ve tesislerden kaynaklanan emisyonları değerlendirirken, emisyon derişimlerine ek olarak, salınan herhangi bir maddenin toplam miktarını ve bir ton ürün veya eriyik başına salınan kütleyi de dikkate almak önemlidir.

Bu bölümde sunulan emisyon verilerinin bazıları kaçınılmaz olarak genel niteliktedir ve verilen aralıklar oldukça geniş olabilir. Söz konusu aralıklar temsildir ancak ilgili tesisle karşılaştırma için yeterli ayrıntıyı sağlamayabilir. Bu nedenle belgenin ilgili kısımlarında, verilen aralıkları temsil eden veya belirli bir sektördeki performans örneklerini temsil eden bir dizi vaka çalışması sunulmuştur.

3.2 Cam sanayiine genel bakış

Bu bölümde, cam sanayiinin çoğu süreç ve sektöründe ortak olan sorunlar nitelendirici bir biçimde ele alınmaktadır. Her bir sektöre ilişkin özel konular, mümkün olduğu durumlarda tüketim ve emisyon seviyelerine ilişkin nicel bilgilerle birlikte, ilerleyen kısımlarda ele alınmaktadır. Salınan maddelerin oluşum mekanizmalarına ve emisyon seviyelerini etkileyen faktörlere ilişkin daha ayrıntılı değerlendirmeler, uygun oldukları ölçüde 4. Bölümde verilmiştir.

3.2.1 Proses girdileri

[66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]

Temel süreç girdileri; hammaddeler (ürünün bir parçasını oluşturan malzemeler), enerji (yakıtlar ve elektrik), su ve yardımcı malzemeler (işleme yardımcıları, temizlik malzemeleri, su arıtma kimyasalları vb.) olmak üzere dört ana kategoriye ayrılabilir. Enerjiye ilişkin konular 3.2.3 kısmında ayrı ayrı ele alınmaktadır.

Belge kapsamındaki tanımıyla cam sanayii, geniş ürün yelpazesi, hammaddeler ve işleme seçenekleri ile birçok farklı süreci içerir. Bu tür bir belgede, sektöre özgü kısımlarla birlikte dahi, tüm süreç girdilerinin kapsanması mümkün değildir. Dolayısıyla bu belge, endüstride en yaygın olan ve çevre üzerinde en büyük etkiye sahip olan girdilere odaklanmaktadır.

Cam sanayiinde kullanılan hammaddeler çoğunlukla, doğal mineraller veya sentetik ürünlerden oluşan, katı inorganik bileşiklerdir. Bunlar, kaba malzemelerden ince öğütülmüş tozlara kadar çeşitlilik gösterirler. Sıvılar ve gazlar da, hem yardımcı malzeme hem de yakıt olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Tablo 3.1’de, cam üretiminde en yaygın olarak kullanılan hammaddeler listelenmektedir. Potansiyel olarak kullanılacak hammaddelerin sahip olduğu geniş çeşitlilik nedeniyle, bu tablo yalnızca gösterge olarak değerlendirilmeli, kapsayıcı nitelikte olduğu düşünülmemelidir. Ürün oluşturmada ve diğer ilave faaliyetlerde kullanılan hammaddeler (örn. kaplamalar ve bağlayıcılar) daha sektöre özgü niteliktedir ve ilerleyen bölümlerde ele alınacaktır. Ergitme için giderek daha önemli bir hale gelen hammaddelerden biri, proseste kullanılan azaltma sistemlerinden geri dönüştürülmüş tozdur. Tozun bileşimi, işlemin yapısına ve herhangi bir emici kullanılıp kullanılmadığına bağlı olacaktır.

Tablo 3.1: Cam endüstrisinde yaygın olarak kullanılan hammaddeler

Hammadde	Form	Açıklama	Kaynak/yorumlar
Cam oluşturan malzemeler			
Silis kumu	Granül	Ana SiO ₂ kaynağı	Kumtaşı veya granüllü kum olarak çıkarılır, ardından kırılır, sınıflandırılır ve safsızlıkları gidermek için işlenir. Yüksek saflık gereklidir
Proses kırığı (iç kırık)	Granül	Cam	Üretim sürecinden geri dönüştürülmüş cam. Üretilen camla aynı olan cam bileşimi
Tüketim sonrası kırık (dış kırık)	Granül	Cam	Toplama programları ile geri dönüştürülmüş cam. Normalde, tüketim sonrası camın ön saflaştırılması ve ayıklanması gereklidir. Kırık saflığı ve renk homojenliği değişken olabilir
Ara ve değiştirici malzemeler			
Sodyum karbonat (Soda külü-Na ₂ CO ₃)	Granül	Ana Na ₂ O kaynağı	Avrupa'da Solvay prosesi kullanılarak doğal tuzdan üretilir ve bu nedenle bir miktar NaCl içerir. Doğal sodyum karbonat ABD'den de ithal edilmektedir. Afrika'daki kaynaklar Avrupa'da nadiren kullanılır.
Kireçtaşı (CaCO ₃) ve yanmış kireç	Granül	Temel CaO kaynağı	Çıkarılan, parçalanmış ve sınıflandırılan doğal malzeme. Kireçtaşı, taş yünü sektöründe genellikle > 50 mm çapındaki daha büyük parçalar halinde kullanılır.
Dolomit (CaCO ₃ .MgCO ₃) ve yanmış dolomit	Granül	CaO ve MgO kaynağı	Çıkarılan, parçalanmış ve sınıflandırılan doğal malzeme. Dolomit, taş yünü sektöründe genellikle > 50 mm çapındaki daha büyük parçalar halinde kullanılır.
Nefelin siyenit (3Na ₂ O.K ₂ O.4Al ₂ O ₃ .8SiO ₂)	Granül	Şeffaf camda ana alüminyum oksit kaynağı	Çıkarılır, kırılır ve sınıflandırılır. Demir içeriği düşüktür. Dünyadaki başlıca kaynaklar: Norveç, Çin ve Kanada
Alüminyum oksitler	Granül	Al ₂ O ₃ kaynağı	Yüksek sıcaklık yalıtım yünlerinde (ASW/RCF) kullanılır
Zirkonyum oksit	Granül	ZrO ₂ kaynağı	Yüksek sıcaklık yalıtım yünlerinde (ASW/RCF) kullanılır
Potasyum karbonat	Granül	K ₂ O kaynağı	Özel camlarda (kurşunlu kristal, TV camı vb.) kullanılır, sentetik bir üründür
Kolemanit	Toz	Bor kaynağı	Türkiye'den gelen doğal borat, kesintisiz cam elyafta kullanılır
Boraks	Granül	Bor kaynağı	Çoğunlukla Kaliforniya, ABD'den gelen, sentetik sodyum borat
Borik asit (H ₃ BO ₃)	Granül	Bor kaynağı	Sentetik ürün, çoğunlukla kesintisiz cam elyafta kullanılır
Feldispat	Granül	Al ₂ O ₃ kaynağı	Renkli soda-kireç camında ana alümina kaynağı. Doğal ürün
Flüspat (CaF ₂)	Granül	Flor kaynağı	Doğal ürün, çoğunlukla opal camda kullanılır
Kurşun oksitler	Toz	PbO kaynağı	Kurşunlu kristal cam ve özel camda PbO taşıyıcıları
Baryum karbonat	Granül	BaO kaynağı	Üretilmiş ürün, çoğunlukla özel camda kullanılır
Bazalt	Granül	Alüminosilikat	Taş yünü sektöründe genellikle > 50 mm çapındaki daha büyük parçalar halinde kullanılır
Anhidrit sodyum sülfat	Granül	Arındırıcı ve oksitleyici madde, Na ₂ O kaynağı	Üretilmiş ürün
Kalsiyum sülfat ve alçıtaşı	Granül	Arındırıcı ve oksitleyici madde, ikincil CaO kaynağı	Doğal malzeme veya üretilmiş ürün

Hammadde	Form	Açıklama	Kaynak/yorumlar
Çin kili	Toz	Alümina kaynağı	Doğal ürün, çoğunlukla kesintisiz cam elyafta kullanılır
Sodyum nitrat	Granül	Arındırıcı ve oksitleyici madde, Na ₂ O kaynağı	Üretilmiş ürün
Potasyum nitrat	Granül	Arındırıcı ve oksitleyici madde, K ₂ O kaynağı	Üretilmiş ürün
Antimon oksit	Toz	Arındırıcı ve oksitleyici madde	Üretilmiş ürün, çoğunlukla özel cam formülasyonlarında kullanılır
Arsenik trioksit	Toz	Arındırıcı ve oksitleyici madde	Üretilmiş ürün, çoğunlukla özel cam ve kurşunlu kristal formülasyonlarında kullanılır
Cüruf (Ca, Al, Mg, Fe silikat ve sülfür)	Granül	Alüminyum oksit, değiştirici oksit, arıtma maddesi, eritken ve renklendirme maddesi kaynağı	Yüksek fırın yan ürünü. Partikül boyutu cam hammaddesine göre ayarlanmalıdır
Karbon	Granül veya toz	İndirgeyici madde	Üretilmiş veya işlenmiş doğal ürün; yeşil, bal rengi ve bazen şeffaf cam üretiminde indirgenmiş oksidasyon durumuna sahip cam üretmek için küçük miktarlarda kullanılır
Sodyum klorür	Kristaller	İnceltici madde	Bazı borosilikat camlarda kullanılır
Renklendirici maddeler			
Demir kromit (Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃)	Toz	Renklendirici madde	Çıkarılır, kırılır ve sınıflandırılır. Demir kromit, yeşil cam ambalaj ve renkli düz cam üretiminde kullanılan renklendiricidir
Demir oksit (Fe ₂ O ₃)	Toz	Renklendirici madde	Üretilmiş ürün, çoğunlukla yeşil ve bal rengi rengi camlarda renklendirici olarak kullanılır
Titanyum oksit	Toz	Renklendirici madde	Üretilmiş ürün, çoğunlukla bal rengi rengi borosilikat camlarda renklendirici olarak kullanılır
Kobalt oksit	Toz	Renklendirici madde	Üretilmiş ürün, hem renk giderici olarak, hem de mavi cam üretiminde renklendirici olarak kullanılır.
Selenyum metal/çinko veya sodyum selenit	Toz	Renklendirici madde	Üretilmiş ürün, eser miktarları ayrıca renk giderici (renk düzeltici) olarak da kullanılır. Bronz cam için yüksek miktarlarda kullanılır
<i>Kaynak: [19, CPIV 1998] [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]</i>			

Bir bütün olarak cam sanayii, büyük bir su tüketicisi değildir, su temel olarak soğutma, temizleme ve harmanı nemlendirmede kullanılır. Bazı sektörlerde su, sektöre özel kısımlarda daha ayrıntılı ele alınan diğer amaçlar doğrultusunda kullanılır. Uygulanabilir olduğunda su devreleri, buharlaşma kayıplarının telafi edildiği kapalı döngülerdir. Su, şehir şebekesinden veya doğal kaynaklardan alınabilir.

‘Yardımcı malzemeler’ terimi, ürünlerin imalatında kullanılan ancak son üründe yer almayan maddeleri tanımlamak için kullanılmaktadır; örneğin, yüzdürme cam banyolarında kullanılan kalay ve hidrojen, oksijen-yakıtla çalışan sistemlerde oksijen, düz camda (ve bazen cam ambalajda) yüzey işleminde kükürt dioksit, ve kurşun kristal üretiminde kullanılan kesme bileşikleri ve parlatma asitleri yardımcı malzemelerdir. Bu tür malzemeler genellikle oldukça sektöre özel niteliktedir ve ilerleyen kısımlarda ele alınmaktadır. Bunların proses emisyonları üzerindeki etkisi durum bazında değişiklik gösterecektir. Asitle parlatma gibi bazı durumlarda oldukça yüksek, yüzdürme banyolarından çıkan kalay emisyonları gibi bazı durumlarda ise çok düşük seviyede olabilirler.

Cam yapımı enerji yoğunluklu bir süreç olduğundan, yakıtlar sürecin önemli bir girdisini temsil edebilir. Cam sanayiinde kullanılan temel enerji kaynakları fuel oil, doğalgaz ve elektriktir. Enerji ve yakıt hususları 3.2.3’te ve sektöre özel kısımlarda ele alınmaktadır.

3.2.2 Proses çıktıları

Temel proses çıktıları; ürün, hava emisyonları, sıvı atık akışları, katı proses artıkları ve enerji olarak beş ana kategoriye ayrılabilir. Prosesin özelliklerine bağlı olarak sıvı ve katı atık akışları geri dönüştürülebilir veya bertaraf edilebilir. Genel olarak, cam tesislerinde önemli yan ürün akışları söz konusu değildir. Bununla birlikte, diğer türlü atık akışı halinde atılacak malzemenin, son ürün olarak veya diğer işlemlerde kullanılmak üzere satılabilir (veya ücretsiz) bir hale getirilmesi giderek yaygınlaşmaktadır.

Genel olarak cam yapımı, metal oksitler, karbonatlar, sülfatlar ve nitratlar gibi büyük bir miktar malzemenin ergitilmesini içerir. Bu maddeler ergitildiklerinde ayrışır ve karbondioksit, su buharı ve kükürt ve azot oksitler gibi gazları salarlar. Harmandaki hammaddeler nem de içerebilir (fiziksel veya kimyasal olarak %0 ile % 4 arasında) ve malzeme ısıtıldıkça su buharı salınır. Genel olarak, harmanın ağırlığının % 3 ila %20'si gaz halinde salınabilir. Yüksek miktarlarda cam kırıklarının kullanıldığı yerlerde, bu rakam verilen aralığın alt sınırına daha yakın olacaktır (1 ton kırık, soda-kireç-silika camlarının üretimi için yaklaşık 1,2 ton işlenmemiş hammaddenin yerine geçer).

İşlemlerin diğer çıktıları arasında gürültü ve koku da yer alabilir. Gürültü; fanlar, motorlar, malzeme taşıma, cam taşıma kayışları, gereç hareketleri, mühendislik faaliyetleri ve basınçlı hava sistemleri gibi bir dizi faaliyetten kaynaklanır. Gürültü, cam sanayiinde büyük bir sorun olarak görülmemektedir. Ancak, gürültü kaynaklarının mevcut olduğu ortadadır ve civardaki yerleşim yerleri için sorunlara yol açabilir. Genel olarak, herhangi bir sorun iyi tasarımı ve gerektiği yerlerde gürültü azaltma teknikleriyle kolayca çözülecektir. Belirli kirlilik kontrol tekniklerinde de gürültü kontrolü gerekli olabilmekle beraber, bu muhtemelen tekniğin maliyetini artırıcı bir durumdur. Kokular genellikle cam sanayiinde bir sorun teşkil etmez, ancak belirli faaliyetler esnasında ortaya çıkabilir ve saha dışındaki problemleri önlemek için tedbirler alınması gerekebilir. Koku problemleriyle ilişkilendirilebilecek temel faaliyetler mineral yünün kürlenmesi, cam kırıklarının ön ısıtması ve bazı durumlarda, petrol depolamadır.

3.2.2.1 Hava emisyonları

Hammaddeler

Cam sanayiinde yer alan tüm sektörlerde toz haline getirilmiş, hammaddeler kullanılır. Bu malzemelerin depolanması ve taşınmasında, ciddi bir toz emisyonu potansiyeli söz konusudur. Malzemelerin silolar ve karıştırıcı hacimleri içeren sistemler aracılığıyla hareketi, kontrol edilmezse çok yüksek derişimlerde toz içerebilecek havanın yer değiştirmesine neden olur. Bu, özellikle pnömatik transfer sistemlerinin kullanıldığı durumlar için geçerlidir. Malzemelerin konveyör sistemleriyle veya elle taşınması da önemli miktarda toz emisyonuna neden olabilir.

Cam sanayiindeki birçok işlemde, fırında kullanılmadan önce ayıklama ve kırma gerektirebilecek cam kırıklarının (tesis içi veya dışarıdan) kullanımı söz konusudur. Tüm benzer süreçler gibi burada da toz emisyonu olasılığı mevcuttur. Emisyon seviyesi tesisin tasarımı, çıkan akışın atılmadan önce filtrelenmiş olup olmadığı, binaların sızdırmazlığı vb. gibi faktörlere bağlıdır. Bazı işlemler ayrıca uçucu sıvıların kullanımını da içerir ve tanktaki havalandırma kayıpları ve sıvı transferleri sırasında buharın yer değiştirmesi ile, havaya emisyon ortaya çıkmasına neden olabilir.

Ergitme

Bu belgenin kapsamı altında değerlendirilen süreçlerin büyük bölümü için, en büyük çevre kirliliği potansiyeli ergitme faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak ergitmeden kaynaklanan başlıca çevre kirleticileri şunlardır:

- fosil yakıtlı yanma ve yanma atmosferindeki (yani kükürt dioksit, karbondioksit ve azot oksitler) azotun yüksek sıcaklıkta oksidasyonundan kaynaklanan ürünler
- esas olarak uçucu harmandaki hammaddelerin buharlaşması ve ardından yoğunlaşmasından kaynaklanan partikül maddeler
- ergitme işlemleri sırasında hammaddelerden ve eriyikten salınan gazlar.

Tamamen elektrikli ergitmenin kullanıldığı yerlerde, yanma ürünleri ve termal olarak üretilen NO_x emisyonları ortadan kaldırılır ve partikül emisyonlarının büyük bölümü harmanın taşınmasından kaynaklanır. Fosil yakıtlı ergitmenin, elektrikle kısmen ikamesi, bu ikamenin ölçeğine ve belirli yanma koşullarına bağlı olarak, tesisten kaynaklanan doğrudan emisyonları azaltacaktır. Oksi-fuel ergitme, fırındaki azot seviyesini büyük ölçüde azaltarak NO_x oluşma ihtimalini de azaltır. Genellikle, elektrik ve oksijen üretimiyle ilişkili tesis dışı emisyonlar da mevcuttur ve bunlar, genel çevresel etki değerlendirilirken dikkate alınmalıdır.

Cam sanayiinde ve sektörlerinin her birinde karşılaşılan fırınlar; boyut, verim, ergitme tekniği, tasarım, yaş, kullanılan hammaddeler ve uygulanan azaltma teknikleri açısından büyük farklılıklar gösterir. Bu nedenle, raporlanan emisyonlar arasında önemli farklılıklar vardır. Emisyonları ölçmek için kullanılan metodolojilerde de önemli farklılıklar mevcuttur, dolayısıyla bazı gerçek verilerin doğrudan karşılaştırılması yanıltıcı olabilir. Minimum değerler her zaman en iyi tekniklerin kullanımına işaret etmeyebilir ve yalnızca daha uygun çalışma koşullarını (örneğin yüksek hacimli kararlı üretim veya düşük emisyonlu harman bileşimleri) veya daha düşük çıktı tesisi yansıtır olabilir. Doğal olarak, daha düşük seviyedeki emisyon büyük bölümü, ileri azaltım tedbirlerinin veya “temiz” teknolojilerin uygulandığı modern fabrikaları temsil eder. Bu konu, Bölüm 4 ve 5'te daha ayrıntılı olarak ele alınan MET-İES'lerin belirlenmesinde dikkate alınmıştır.

Hava emisyonları normalde derişimler (mg/Nm³) veya kütle emisyonları (kg/ton cam) olarak sunulur. Derişimlerde verilen tüm değerler standart koşulları göz önünde bulundurur: kuru gaz, sıcaklık 273 K, basınç 1013 hPa. Aksi belirtilmedikçe, Bölüm 3 ve sonraki bölümlerde sunulan rakamlar için standart koşullar Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2: Emisyon verilerinin referans koşulları

İşletim koşulları	Birim/ünite	Referans koşullar
ErgitErgitme faaliyetleri		
Konvansiyonel fırınlar (sürekli ergiticiler)	mg/Nm ³	Hacimce %8 oksijen
Konvansiyonel fırınlar (kesikli ergiticiler)	mg/Nm ³	Hacimce %13 oksijen
Oksi-fuel fırınlar	kg/ton erimiş cam	Özgül kütle emisyonlarının (kg/ton erimiş cam) kullanılması daha uygundur. Ancak, emisyon derişimleri raporlarsa, referans oksijene göre düzeltme uygulanamaz
Elektrikli fırınlar	kg/ton erimiş cam veya mg/Nm ³	Referans oksijene göre emisyon derişimlerinin düzeltilmesi uygulanamaz
Frit ergitme fırınları ⁽¹⁾	kg/ton erimiş cam veya mg/Nm ³	Derişimler hacimce %15 oksijene karşılık gelir. Özgül kütle emisyonları, bir ton erimiş frit içindir
Bütün fırın türleri	kg/ton cam	Özgül kütle emisyonları, bir ton erimiş cam içindir
ErgitErgitme olmayan faaliyetler		
Tüm prosesler	mg/Nm ³	Oksijen için düzeltme yok
Tüm prosesler	kg/ton cam	Özgül kütle emisyonları, bir ton üretilmiş cam içindir
⁽¹⁾ Derişimlerin (mg/Nm ³) veya kütle emisyonlarının (kg/t cam) kullanımı, çalışma koşullarına bağlıdır (oksi ateşleme, oksijenle zenginleştirilmiş hava/gaz ateşleme - bkz. Tablo 5.1).		

Cam sanayiindeki ergitme faaliyetlerinden kaynaklanan başlıca emisyonlar aşağıdaki Tablo 3.3'de özetlenmiştir.

Tablo 3.3: Ergitme faaliyetlerinden atmosfere salınan emisyonların özeti

Emisyon	Kaynak/Yorumlar
Partikül madde	Ergimiş camdan harman bileşenlerinin buharlaşması ve ardından mikron altı toz parçacıklarına yoğunlaşma. Harmandaki ince malzemenin taşınması. Bazı fosil yakıtların yanma ürünleri
Azot oksitler	Yüksek ergime sıcaklıkları ve hızlı NO _x oluşumu nedeniyle termal NO _x Harmandaki i azot bileşiklerinin ayrışması Yakıtlarda bulunan azotun oksidasyonu
Kükürt oksitler	Yakıttaki kükürt Özellikle sülfatlarla yapılan afinyasyon prosesinden kaynaklanan, Harmandaki i kükürt bileşiklerinin ayrışması Sıcak havalı kupol ocağı işlemlerinde hidrojen sülfürün oksidasyonu.
Klorürler/HCl	Bazı hammaddelerde, özellikle de sentetik sodyum karbonatta ve dışarıdan gelen cam kırıklarında, safsızlık olarak mevcuttur. Sodyum klorür bazı özel camlarda hammadde (arıtma maddesi) olarak kullanılır.
Florürler/HF	Dışarıdan gelen cam kırıkları da dâhil olmak üzere, bazı hammaddelerde az miktarda safsızlık olarak bulunur. Tamamlanan ürüne belirli özellikler eklemek için, emaye frit üretiminde hammadde olarak eklenir. Şekillendirme sürecine müdahale etmek amacıyla (yüzey gerilimi) kesintisiz cam elyaf sektöründe, ve ergime özelliğini artırmak veya camda opaklık gibi belirli özellikleri elde etmek için bazı cam harmanlarında hammadde olarak eklenir. Harmana florürlerin, tipik olarak flüspat olarak eklendiği durumlarda, kontrolsüz emisyonlar çok yüksek düzeyde olabilir
Ağır metaller (örn. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Bazı hammaddelerde, tüketim sonrası cam cam kırıklarında ve yakıtlarda az miktarda safsızlık olarak bulunur. Frit endüstrisinde, özellikle emaye fritleri için ergitkenlerde (fluks) ve renklendirme maddelerinde kullanılır (ağırlıklı olarak kurşun ve kadmiyum). Bazı özel cam formülasyonlarında (örn. kristal cam ve bazı renkli camlarda) kullanılır. Selenyum renklendirici (bronz cam), veya bazı şeffaf camlarda renk giderici olarak kullanılır, hem gaz hem katı emisyonlara neden olabilir.
Karbondioksit	Yanma ürünü Harmandaki hammaddelerdeki karbonatların ayrışması sonucu salınır (örn. soda külü, kireçtaşı).
Karbonmonoksit	Özellikle sıcak havalı kupol ocaklarında görülen tamamlanmamış yanma ürünüdür.
Hidrojen sülfür	Fırının belirli kısımlarında mevcut olan indirgeyici koşullar dolayısıyla, sıcak havalı kupol ocaklarındaki hammadde veya yakıt kükürdünden oluşur.

Bazı işlemlerden kaynaklanan ve genellikle tozda bulunan ağır metal ve eser miktarda element emisyonlarının derişimleri önemli olabilir. Tablo 3.4, tahmini görelî potansiyel çevresel etkileri temelinde, genellikle metal emisyonları için kullanılan sınıflandırma gruplarını vermektedir (bkz. TA Luft 1986, Fransız ve İtalyan yasaları).

Tablo 3.4: Metallerin ve bileşiklerinin sınıflandırılması

Grup 1 metalleri ve bileşikleri	Grup 2 metalleri ve bileşikleri
Arsenik	Antimon
Kobalt	Kurşun
Nikel	Krom III
Selenyum	Bakır
Krom VI	Manganez
Kadmiyum	Vanadyum
	Kalay

MET kullanımının göstergesi olmayan, ağır metaller için açıklayıcı niteliğindeki azami figürleri içeren Tablo 3.5'te, kaynağı [42, VDI 1997][162, ICG-TC 13 2006] olan bazı gerçek emisyon seviyeleri

verilmektedir.

Tablo 3.5: Azaltma olmaksızın cam işlemlerinden kaynaklanan ağır metal emisyonları potansiyeli

Metal	Cam ambalaj	Düz cam	Kurşun kristal cam
Vanadyum (fuel oil ateşlemesinde)	4 mg/Nm ³ 'e kadar	2 mg/Nm ³ 'e kadar	
Nikel (fuel oil ateşlemesinde)	0,5 mg/Nm ³ 'e kadar	0,4 mg/Nm ³ 'e kadar	
Krom, toplam (yeşil cam)	3 mg/Nm ³ 'e kadar		
Selenyum, toplam (yeşil kap cam)	0,8 mg/Nm ³ 'e kadar		
Selenyum, gaz (içi boş renksiz cam cam)	14 mg/Nm ³ 'e kadar		
Selenyum, toplam (içi boş renksiz cam cam)	25 mg/Nm ³ 'e kadar		
Selenyum, toplam (yüzer bronz cam)		80 mg/Nm ³ 'e kadar	
Kurşun	4 mg/Nm ³ 'e kadar	1 mg/Nm ³ 'e kadar	700 mg/Nm ³ 'e kadar
Kadmiyum	0.3 mg/Nm ³ 'e kadar	0.1 mg/Nm ³ 'e kadar	
Antimon			10 mg/Nm ³ 'e kadar
Arsenik			20 mg/Nm ³ 'e kadar
Kaynak: [42, VDI 1997] [162, ICG-TC 13 2006]			

İlave işlemler

Bu terim, örneğin şekillendirme, tavlama, kaplama, işleme vb. gibi, ergitmenin ardından gerçekleştirilen faaliyetleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Farklı sektörler arasında büyük ölçüde değişiklik gösterebilen, ilave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar, sektöre özel bölümlerde ele alınmaktadır. Sektörlerin çoğunda benzer ergitme teknikleri kullanılmakta olsa da, ilave işlemler sektöre özel olma eğilimi gösterir. Genel olarak, hava emisyonları şunlardan kaynaklanabilir:

- kaplama uygulaması ve/veya kurutma (örneğin mineral yün, kesintisiz cam elyaf, cam ambalaj ve bazı düz camlar);
- kesme, parlatma veya ikincil işleme gibi üretilen malzemeler (örn. mineral yün, cam ev eşyaları, özel cam, HTIW) üzerinde gerçekleştirilen herhangi bir faaliyet;
- bazı ürün şekillendirme işlemleri (örn. mineral yün ve HTIW).

Difüz/kaçak emisyonlar

Difüz ve kaçak emisyonlar, cam üretim sürecinin farklı operasyonlarıyla ilişkilendirilebilir; ancak, genel olarak, sektör için kilit bir endişe teşkil etmezler. Cam sanayiinin tüm sektörlerinde ortak olan difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları aşağıdaki alanlarla ilişkilidir:

- malzeme depolama ve taşıma
- fırının hammadde besleme alanı (harman besleme ağzı)
- ergitme fırını.

Malzemenin depolanması ve taşınması

Partikül emisyonları, açık alanlarda biriken kum ve/veya cam kırıklarından ve depolama silolarından sızıntılardan kaynaklanabilir. Gaz emisyonları, esas olarak ilave işlemler veya baca gazı arıtmaları (amonyak depolama) ile ilgili olan uçucu sıvıların ve/veya gaz halindeki kimyasalların depolanması ve işlenmesinden kaynaklanabilir. Depolamadan kaynaklanan difüz/kaçak emisyonların önlenmesi ve en aza indirilmesine ilişkin bilgiler, Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlara İlişkin Referans Belgesinde (EFS MET-Ref) [121, EC 2006] bulunabilir. Genel olarak, çalışma alanındaki difüz ve kaçak emisyonların etkisi, farkındalık ve uyumun da kapsamında olduğu, yürürlükte olan Sağlık ve Güvenlik yönetmelikleri tarafından yönetilir. Mesleki maruziyet sınır değerleri (OEL'ler) Avrupa düzeyinde belirli bir takım maddeler için belirlenmiştir, diğer birçok OEL ise ulusal veya uluslararası mevzuatlara ve eşik sınır değer listelerine dayanmaktadır (örn. Avrupa'da OSHA; ABD'de ACGIH; Almanya'da MAK vb.). Solunabilir kristal silikanın difüz emisyonları (cam üretimi için harman formülasyonunun temel bir bileşeni olan silika kumu, solunabilir kristal silika parçacıklarına yol açabilir) bir Avrupa Sosyal Diyalog Anlaşmasının konusudur: 2006'da imzalanan 'Kristal silika ve içeren ürünlerin iyi işlenmesi ve kullanılması yoluyla işçilerin sağlığının korunmasına ilişkin anlaşma' [135, NEPSI 2006] [169, NEPSI-İyi Uygulama Kılavuzu 2006].

Fırının harman besleme alanı (harman besleme ağız)

Katı ve gazlı emisyonlar, harman formülasyonunun ergitme fırınına verilmesinden kaynaklanan taşınma, buharlaşma ve ayrışma etkilerinden kaynaklanabilir. Genel olarak hem hava girişini hem de yayılan emisyonları önlemek için harman besleme alanı (harman besleme ağız) mümkün olduğunca kapalı tutulur. Harman besleme ağız alanı, bazı durumlarda dışarıya veya daha nadir olarak çatıya yakın bir yerde içeriye boşaltım yapan çıkış sistemleriyle donatılabilir; diğer durumlarda ise, belirli tipteki fırınlar için, harman atma ağız tamamen kapalıdır.

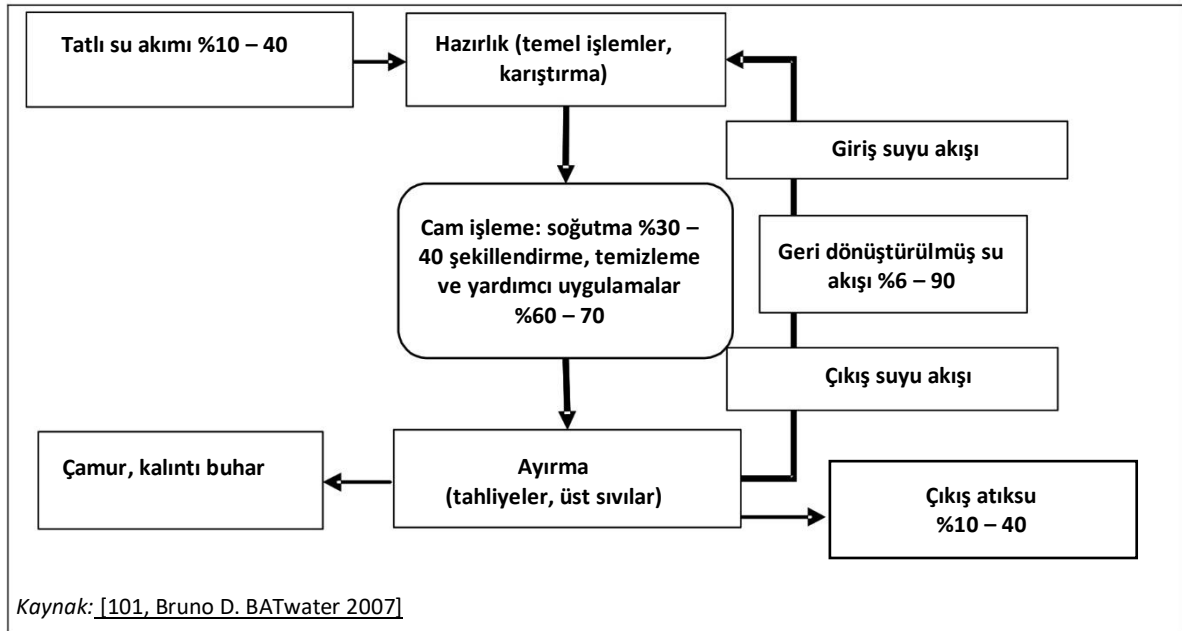
Ergitme fırını

Difüz emisyonlar, fosil yakıt yanma gazlarından ve harman formülasyonundaki uçucu bileşenlerin buharlaşma/yoğunlaşma etkilerinden kaynaklanabilir. Ergitme fırını, gözlem delikleri, port ve refrakter tuğlalar arasındaki yarıklar nedeniyle tamamen kapatılamayabilir. Kükürt dioksit gibi bir önemli kirleticinin kütle dengesi alınarak gaz kaçağı hacminin bir tahmini yapıldığında, fırından sızan atık gazların miktarının, ergitme sırasında ortaya çıkan atık gaz hacmine kıyasla çok düşük olduğu anlaşılabacaktır.

3.2.2.2 Suyadeşajlar

Genel olarak, su ortamına emisyonlar nispeten düşüktür ve cam sanayiine özgü önemli sorunların sayısı azdır. Su, genel olarak temizlik ve soğutma amacıyla kullanılır; standart teknikler kullanılarak kolaylıkla geri dönüştürülebilir veya arıtılabilir.

Çoğu faaliyette, genelde su arıtma kimyasalları, yağlayıcılar ve fuel oil ile sınırlı bir takım sıvılar kullanılacaktır. Tüm sıvı hammaddeler, döküntü veya saklama hatasının getirdiği potansiyel bir çevresel tehdit kaynağıdır. Çoğu durumda, temel düzeyde iyi uygulama ve tasarım, herhangi bir potansiyel emisyonu kontrol etmek için yeterlidir. Sulu emisyonlarla ilgili özel konular sektöre özel bölümlerde ele alınmaktadır. Örnek olarak, cam ambalaj imalat endüstrisindeki su dağılımının tipik bir akış şeması Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Bir cam ambalaj fabrikasında tipik su dağılımı

3.2.2.3 Diğer atıkların emisyonları

Cam sanayii sektörlerinin çoğunda gözlenen bir özellik, tesis içinde üretilen cam atığın büyük bölümünün geri dönüştürülerek fırına yeniden gönderilmesidir. Burada en büyük istisnalar; kesintisiz cam elyaf sektörü, HTIW sektörü ve özel cam ve cam ev eşyaları sektörlerinde çok yüksek kaliteli hassas ürünlerin üretiminde görülür. Mineral yün ve frit sektörlerinde fırına geri dönüştürülen atık miktarında, sıfırdan bazı taş yünü tesisleri için neredeyse %100'e kadar değişen, geniş bir varyasyon görülmektedir. Bunun dışındaki atık üretimi; hammadde hazırlama ve taşımadan kaynaklanan atıklar, atık gaz bacalarındaki atık bırakıntıları (genellikle sülfatlar) ve fırının kullanım ömrü sonunda atık haline gelen refrakter malzemeleri içerir.

Cam sanayiinin bazı sektörlerinde, üst duvarların, tavanların ve rejeneratörlerin inşasında krom içeren refrakterler kullanılmaktadır. Magnezyum-krom tuğla oluşturmak için magnezya ile birleştirilmiş krom, harman taşınmasına ve rejeneratör odalarında bulunan yüksek sıcaklıklardaki yanma ürünlerine karşı çok dirençlidir. Bu malzemelerin hazırlanmasında kullanılan krom Cr^{3+} aslen tehlikesizdir, çözünürlüğü düşüktür ve çok düşük seviyede risk teşkil eder. Bununla birlikte, alkali ve oksitleyici koşullar altındaki yüksek sıcaklıklarda, küçük miktarlardaki krom, fırının çalıştırılması sırasında Cr^{6+} kromuna dönüşecektir. Cr^{6+} bileşikleri yüksek oranda çözünür, toksik ve kanserojendir.

Tüm fırın atıklarında olduğu gibi, fırının işletiminin sonuna gelindiğinde malzemelerin geri dönüştürülmesi için her türlü çaba gösterilmektedir. Bunun mümkün olmadığı durumlarda, kullanılan mag-krom refrakterlerin Cr^{6+} içeriği, doğru sınıflandırılmalarını ve uygun şekilde bertaraf edilmelerini sağlamak üzere belirlenecektir. Geliştirme ve yeniden tasarlama yoluyla sanayideki krom içeren refrakter miktarı kademeli olarak azaltılmaktadır.

Yüksek saflıktaki krom oksitli refrakterler de küçük tonajlarda kullanılabilir. Genellikle, işletim sonunda üretici tarafından geri dönüşüm için geri alınmak üzere satın alınırlar. Çoğu kesintisiz cam elyaf fırınında bu malzemelerden büyük miktarlarda kullanılır.

3.2.3 Enerji

[15, ETSU 1992][19, CPIV 1998]

Cam yapımı, yoğun enerji gerektirir ve enerji kaynağı seçimleri, ısıtma tekniği ve ısı geri kazanım yöntemi fırın tasarımında büyük öneme sahiptir. Bu seçimler aynı zamanda ergitme işleminin çevresel performansını ve enerji verimliliğini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Dolayısıyla, cam üretim sürecinin en önemli girdi türlerinden biri enerjidir ve üç ana enerji kaynağı fuel-oil, doğalgaz ve elektriktir. Bunun istisnası, en yaygın ergitme tekniğinin yakıt olarak kok kömürü kullanan sıcak havalı kupol ocakları olduğu taş yünü imalatıdır. Enerji kaynağının seçimi, büyük ölçüde her bir Üye Devletin kendi enerji stratejilerine ve/veya politikalarına (örn. nükleer enerji yerine fosil yakıt kullanımının teşvik edilmesi) bağlıdır. Kullanılan enerji türü, hava kirleticilerinin emisyonları üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (örneğin, kükürt içeren yakıttan kaynaklanan SO_x veya önemli miktarda azot içeren doğal gazdan kaynaklanan NO_x , vb.). Ayrıca, emisyonların doğrudan sahadan mı yoksa dolaylı olarak saha dışından mı yayılacağını etkiler.

Geçtiğimiz on yıllarda, fuel oil cam yapımında en yaygın kullanılan yakıt olmuştur, ancak günümüzde bazı Avrupa ülkelerinde en yaygın kullanılan yakıt doğal gazdır. Safılık ve kükürt içeriğinde farklılık gösteren, ağırdan hafife farklı fuel oil sınıfları vardır. Birçok büyük fırın hem doğal gaz hem de fuel oil ile çalışacak şekilde donatılmıştır; ağırlıklı olarak gazla çalışan fırınların bir veya iki boşlukta fuel oil yakması sık görülen bir durumdur. Aynı brülörde yakıt ve gazın karıştırılması da giderek daha yaygın hale gelmektedir.

Cam yapımı için en yaygın üçüncü enerji kaynağı olan elektrik, tek başına veya fosil yakıtlarla beraber kullanılabilir. Dirençli elektrikli ısıtma, cam sanayiinde yaygın ticari uygulama bulan tek tekniktir. Dolaylı elektrikli ısıtma yalnızca çok küçük tanklar ve pota ocakları için veya tankın bir bölümünü ısıtmak için (örn. çalışma ucu veya ön hazne) kullanılmaktadır.

Genelde, camı ergitmek için gerekli enerji, cam üretiminin toplam enerji gereksiniminin %75'inden fazlasına tekabül eder. Enerji kullanımının önemli olduğu diğer alanlar ön hazneler, şekillendirme işlemi, tavlama, fabrika ısıtma ve genel hizmetlerdir. AB'deki üretiminin yaklaşık %53'ünü oluşturan Cam Ambalaj Sektörü için tipik enerji kullanımı dağılımı: %79 – 82 fırın, %6 ön hazne, %4 basınçlı hava, %2 soğutma tüneli ve %6 diğer.

Bu belgede verilen enerji değerlerinin, kullanım noktasındaki enerjiye ilişkin olduğu ve birincil enerji olarak düzeltilmediği unutulmamalıdır.

Sektörler arasında ve tesisler özelinde büyük farklılıklar olmasına rağmen, cam ambalaj örneği, sanayiinin geneli için bir gösterge olarak kabul edilebilir. Bu genellemenin ana istisnası, elyaflaştırma işlemi ve kurlama fırınının da büyük oranda enerji tüketimine sebep olduğu mineral yün sektörüdür. Cam ambalaj sektöründe, belirli son ürün kalite gereksinimlerinden dolayı toplam enerji tüketiminin yaklaşık %50'sinin ergitmede kullanıldığı flakon üretimi, özel bir durum teşkil etmektedir.

Daha önce belirtildiği gibi, fuel oil ve doğal gaz ergitme için kullanılan en önemli enerji kaynaklarıdır, ayrıca elektriğin de küçük bir payı vardır. Ön hazneler ve tavlama tünelleri gaz veya elektrikle ısıtılır ve elektrik enerjisi, süreç için gerekli hava kompresörlerini ve fanları çalıştırmak için kullanılır. Genel hizmetler arasında su pompalama, yakıt depolama ve yüzey ısıtma için buhar üretimi, harmanın nemlendirilmesi/ısıtılması ve binaların ısıtılması yer alır. Bazı fırınlar gerekli buharın bir kısmını veya tamamını üreten atık ısı kazanları ile donatılmıştır.

Prosesin enerji verimliliğine ilişkin bir kıyaslama ölçütü elde etmek için, cam eritmeye dair teorik enerji gereksinimlerinin dikkate alınması faydalı olacaktır. Geri dönüştürülen kırık içermeyen harman formülasyonlarından en yaygın camların ergitilmesi için teorik enerji gereksinimleri Tablo 3.6'da verilmiştir. Hesaplama, mevcut ısının tamamen kullanıldığı varsayılır ve üç bileşen yer alır:

- hammaddeden camı oluşturmak için reaksiyon ısısı
- cam sıcaklığını 20'den 1500°C'ye yükseltmek için gereken ısı, entalpi ve
- ergitme sırasında harmandan salınan gazların (CO₂ başta olmak üzere) ısı içeriği.

Tablo 3.6'da verilen teorik seviyeler sadece cam formülasyonlarını ergitmek için gereken enerji ile ilgilidir. Camı işlemek, biçimlendirmek ve bitirmek ve basınçlı hava gibi diğer yardımcı hizmetler için ek enerji gerekecektir.

Tablo 3.6: Geri dönüştürülen kırık içermeyen harman formülasyonlarından yaygın camların ergitilmesi için teorik enerji gereksinimleri

Cam türü	Reaksiyon ısısı	Camın entalpisi	Salınan gazların entalpisi	Teorik enerji gereksinimi
	GJ/ton	GJ/ton	GJ/ton	GJ/ton
Soda-kireç (düz/ambalaj cam)	0,49	1,89	0,30	2,68
Borosilikat (8 % B ₂ O ₃)	0,41	1,70	0,14	2,25
Borosilikat (13 % B ₂ O ₃)	-	-	-	2,4
Kristal cam (%19 PbO)	0,40	1,69	0,16	2,25
Kristal cam (%24 PbO)	-	-	-	2.1
Baryumlu kristal cam	1,02	1,91	0,31	3,24
NA = mevcut değil.				
Kaynak: [15, ETSU 1992] [102, ARC Enerji gereksinimi 2008]				

Çeşitli sektörlerde karşılaşılan fiili ergitme enerjisi gereksinimleri, GJ/ergitilen ton cinsinden 3,3'ten 40'ın üstünde değerlere varan geniş bir aralığa sahiptir. Bu rakam büyük ölçüde fırın tasarımına, ölçeğine, çalışma yöntemine ve cam tipine bağlıdır. Ancak camlar çoğunlukla büyük fırınlarda üretilir ve ergitme için gereken enerji genellikle 8 GJ/tonun altındadır. Bilginin mevcut olduğu her sektör için enerji tüketimi daha ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Genel olarak, ergitme fırınına enerji aşağıdaki yollarla sağlanır:

- yakıt yanması
- yanma havasının ön ısıtılması
- elektrik enerjisi
- yakıt, oksijen veya fazla yanma havasının gizli ısısı
- (önceden ısıtılmış) harman.

Cam üretimi çok yoğun enerjili ve yüksek sıcaklıklı bir süreç olduğundan, doğal olarak yüksek bir ısı kaybı potansiyeline sahiptir. Son yıllarda enerji verimliliği konusunda önemli ilerleme kaydedilmiştir ve bazı prosesler (örn. büyük rejeneratif fırınlar), ergitme için proseslerin doğasında var olan sınırlamalar göz önünde bulundurularak belirlenen teorik asgari enerji tüketimine yaklaşmaktadır.

Modern bir rejeneratif cam ambalaj fırınının toplam termal verimliliği % 50 civarındayken (maksimum %60) atık gaz kayıpları %30 civarında gerçekleşecektir; kalan kısmın ise hemen hemen tümü yapısal kayıplardan oluşacaktır. Bu verimlilik, diğer büyük ölçekli yakma faaliyetlerine, özellikle tipik olarak yaklaşık %35 – 45 aralığında verime sahip olan elektrik üretimine kıyasla oldukça iyidir. Yapısal kayıplar fırın boyutuyla ters orantılıdır, bunun temel nedeni yüzey alanı-hacim oranının değişimidir. Elektrikle ısıtılan ve oksî-yakıtla ateşlenen fırınlar genellikle fosil yakıtlı fırınlardan daha iyi bir özgül enerji verimliliğine sahiptir, ancak bu belgede daha sonra ele alınacak olan dezavantajları da vardır. En yaygın endüstriyel camların üretimi için tipik bir enerji çıktı dağılımı Tablo 3.7'de verilmektedir.

Tablo 3.7: En yaygın endüstriyel camların üretimi için enerji çıktı dağılımı örnekleri

Cam türü	Düz cam	Cam ambalaj
Fırın tipi	Yüzdürmeli, rejeneratif yandan ateşlemeli	Rejeneratif, arkadan ateşlemeli
Ergitme hızı	600 ton/gün	260 ton/gün
Kırık	% 25	% 83
Toplam enerji tüketimi (GJ/ton erimiş cam)	6.48 GJ/ton erimiş cam	3.62 GJ/ton erimiş cam
Su buharlaşması (harman nemliliği)	1 %	1.5 %
Isı alan tepkimeler	6 %	2.4 %
Camı eriyiği gizli ısı (net)	33 %	44.2 %
Duvar ısı kayıpları	15 %	18.3 %
Soğuma ve kaçak ısı kayıpları	9 %	3.7 %
Alt rejeneratörden baca gazı kayıpları	32 %	27.6 %
Rejeneratör ısı kayıpları (yapısal)	4 %	2.3 %
Kaynak: [97, Beerkens Enerji Dengeleri 2006]		

Fosil yakıtla çalışan fırınların enerji tüketimini etkileyen daha genel faktörlerden bazıları aşağıda ana hatlarıyla açıklanmıştır. Herhangi bir tesis için, aşağıda verilen genel bilgilerin uygulanabilirliğini etkileyecek olan tesise özgü hususların dikkate alınması önemlidir. Bu faktörler ayrıca, yakılan fosil yakıt miktarı ile doğrudan ilişkili olan, özellikle CO₂, SO₂ ve NO_x gibi maddelerin ton cam başına emisyonlarını da etkiler. Başlıca tesise özgü konular aşağıda verilmiştir.

- Fırının kapasitesi ergitilen bir ton cam başına tüketilen enerjiyi önemli ölçüde etkiler, çünkü daha büyük fırınlar, daha düşük olan yüzey alanı/hacim oranı nedeniyle doğal olarak daha enerji verimlidir.
- Fırın iş verimi de önemli bir husustur; çoğu fırın azami yük ile çalışırken en enerji verimli üretimi gerçekleştirir. Fırın yükündeki varyasyon büyük ölçüde pazara bağlıdır ve özellikle bazı cam ambalajlar ve cam ev eşyaları için oldukça geniş olabilir.
- Genellikle bir fırının yaşı arttıkça termal verimi azalır. Bir fırının işletiminin sonuna yaklaşıldıkça, ergitilen bir ton cam başına tüketilen enerji, başlangıca kıyasla %20'ye kadar daha fazla olabilir.
- Elektrik desteğinin kullanılması fırının enerji verimliliğini artırır. Bununla birlikte, elektrik maliyeti ve elektrik üretim ve dağıtımının verimliliği hesaba katıldığında, son tahlilde kaydedilen ilerleme daha azdır (hatta negatif olabilir). Elektrik desteği, genellikle fırının enerji verimliliğinden ziyade ergitme kapasitesini artırmak için kullanılır.
- Cam kırıklarının kullanımı, hammaddelerin ergitilmesi için gereken kimyasal enerji zaten sağlanmış olduğundan, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir. Bir genel kural olarak, kırık kullanımındaki her %10'luk artış, ergitme işleminde %2 – 3 enerji tasarrufu sağlar.
- Oksi-fuel fırında da, özellikle daha küçük fırınlarda enerji tüketimini azaltabilir. Yanma ortamındaki azotun büyük kısmının ortadan kaldırılması, fırından çıkan atık gaz hacmini % 60 – 70 oranında azaltır. Dolayısıyla, atmosferdeki azotu alevlerin sıcaklığına erişene kadar ısıtmak gerekmediğinden, enerji tasarrufu mümkündür; çoğu oksi-yakıt fırını ısı geri kazanım sistemleriyle donatılmıştır.

Yukarıda belirtilen tesise özgü hususlar, farklı ergitme tekniklerinin uygulanabilirliğini, özellikle elektrik maliyetini ve elektrik üretim ve dağıtımının verimliliğini etkileyen bazı önemli tesis dışı sorunları hesaba katmaz.

Enerji verimliliği, bu bölümün sektöre özel kısımlarında ve 4. Bölümde daha ayrıntılı ele alınan, çok karmaşık bir konudur. Bir bütün olarak cam sanayii 1960'lardan bu yana özgül enerji tüketimini yılda yaklaşık % 1,5 oranında azaltmıştır. Günümüzde termodinamik sınırlara yaklaşıldıkça bu rakam düşmektedir.

Tablo 3.8, bir dizi modern, enerji verimli cam fırını için özgül enerji tüketimine ilişkin faydalı örnekler vermektedir.

Tablo 3.8: Çeşitli cam fırınları için özgül enerji tüketimi örnekleri

Tank fırını tipi	Cam türü	ErgitErgitme alanı ⁽¹⁾ (m ²)	Cam banyosu derinliği ergitErgitme ucu (mm)	Tank kapasitesi ergitErgitme ucu (t)	Tank banyosunun uzunluk/genişlik oranı	Çıktı (t/gün)	Özgül çıktı (t/m ² d)	Özgül enerji tüketimi ⁽²⁾ (kJ/kg cam)
Rejeneratif hava ön ısıtılmalı yandan ateşlemeli fırın	Cam ambalaj	15,155	1200 - 1700	50 - 500	1.9 - 3.0:1	40 - 500	2,5-4,0	4200
Rejeneratif arkadan ateşlemeli fırın	Cam ambalaj	15,140	1200 - 1700	50 - 500	1.9 - 2.5:1	40 - 450	2,5-4,0	3800
Rekuperatif fırın	Cam ambalaj	250'ye kadar	1100- 1600	50-650	2.0-2.8: 1	40 - 450	2,0-3,0	5000
Oksi-yakıt ateşlemeli fırın	Cam ambalaj	110,154	1300- 1700	390-600	2.0-2.4:1	350-425	2.3 -3.5	3050 - 3500 ⁽³⁾
Rejeneratif hava ön ısıtılmalı yandan ateşlemeli fırın	Düz cam	100 - 400	1200 - 1400	300-2500	2.1 - 2.8:1	150 - 900	2,3 -2,7	6300
Rejeneratif hava ön ısıtılmalı yandan ateşlemeli fırın	Televizyon tüp camı (ekran)	70 - 300	900- 1100	160 - 700	2.0-3.0:1	100 - 500	1,1 - 1,8	8300
Rekuperatif hava ön ısıtılmalı fırın	Sofra gereçleri	15-60	1100- 1300	40 - 180	1.8 - 2.2:1	15 - 120	1,0-2,0	6700- 11000 ⁽⁴⁾
Rejeneratif hava ön ısıtılmalı yandan ateşlemeli fırın	Sofra gereçleri	30,40	800 - 1000	65 - 100	2.0-3.0:1	40,60	1.2- 1.6	8000- 11000
Rejeneratif arkadan ateşlemeli fırın	Sofra gereçleri	45,70	800 - 1800	100-250	1.8 - 2.2:1	120 - 180	2,0-3,0	5000 - 6000
Rekuperatif hava ön ısıtılmalı fırın	Cam yünü	15-110	800 - 1500	50 - 200	2.8:1	30,350	3,4	4300,6500

⁽¹⁾ Cam ergitErgitme ve rafinasyonu için cam fırınının yüzey alanı; normalde harman atma ağız ve boğaz arasındaki alandır; yüzdürme cam fırınlarında ısıtılmamış şartlandırma alanı dâhil değildir.

⁽²⁾ Başlatma ve nominal yük işletimi sırasında çalışma ucu ve besleyici olmadan özgül enerji tüketimi (elektrik desteği, eriyik ön ısıtması ve ikincil atık ısı kullanımı olmaksızın fırının yaşlanması nedeniyle enerji tüketimi genellikle ayda % 0,1 ila 0,2 oranında artacaktır) şunlara göre standartlaştırılmıştır:

- Cam ambalajı için %70 kırık
- Yüzdürme cam için %20 kırık
- Televizyon tüp camı ve sofa takımı için %40 kırık.
- Kullanılan ek kırık yüzdesi başına enerji tasarrufu: %0,15 ila %0,3.

Verilen spesifik enerji tüketimi değerleri, yeni orta ölçekli ve büyük tesisler için yaklaşık kılavuz değerlerdir. Özel durumlarda ortaya çıkan büyük farklılıklar nedeniyle enerji dengesi değerlendirmeleri için uygun değildir. Gerçek özgül enerji tüketimi sadece cam kırığı içeriğine ve tankın yaşına değil, bunlara ilaveten aynı zamanda harmanın bileşimine, hava ön ısıtmasına, özgül tank yüküne, tank yalıtımına ve istenen cam kalite standardına da bağlıdır.

⁽³⁾ Belirtilen veriler, oksi-yakıt teknolojisini kullanan iki ticari tesisin işletme deneyimine dayanmaktadır. Oksijen üretimi için gerekli olan enerji, özgül enerji tüketimine dâhil değildir.

⁽⁴⁾ Rekuperatif fırınlar için daha düşük olan özgül enerji tüketimi aralığı, üretilen camın kalite standardının daha düşük olması ile ilgili olabilir. Genel olarak, rejeneratif fırınlar, rekuperatif fırınlardan daha düşük özgül enerji tüketimi sunar.

Kaynak: [42, VDI 1997] [136, EURIMA 2008] [137, Cam ev eşyası 2008]

3.2.4 Gürültü

Cam üretim sürecinde gürültü, özellikle ambalaj ve cam ev eşyası üretimi sektörleri başta olmak üzere bazı sektörler için önemli bir sorun olabilir. Gürültünün önlenmesi ve azaltılması pratikte her zaman uygun değildir, ve gürültü seviyelerinin azaltılamadığı durumlarda işçileri korumak için önlemlerin alınması olağandır. Tesis içindeki gürültü seviyeleri esas olarak bir iş sağlığı sorununu temsil etmektedir; gürültünün operatörler üzerindeki etkisi bu belge kapsamında değildir. Cam tesisinin çevresel etkisinin değerlendirilmesi, tesisin hassas alıcılara yakınlığı ile ilişki kurarak yapılmalıdır.

Gürültü emisyonlarının önemli kaynakları şunlardır:

- soğutma için basınçlı hava
- yanma havası için fan
- atık gaz çıkarma fanı
- şekillendirme makineleri (örn. ambalaj, ev eşyası ve özel cam sektörleri)
- cam ürünler için taşıma kayışları
- kesme işlemleri (örn. düz ve özel cam)
- zımparalama, parlatma işlemleri (örn. ev eşyası ve özel cam).

Gürültü seviyeleri (desibel cinsinden) ekipmana/tesislere özgüdür ve kurulumun bazı alanlarında 85 dBA değerini aşabilir.

En yaygın gürültü azaltma teknikleri şunlardır:

- gürültülü ekipmanın/işlemlerin ayrı yapılarda muhafaza edilmesi
- gürültü kaynağını perdeleyen dolgu kullanımı

3.3 Cam ambalaj

[19, CPIV 1998] [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]

1. Bölümde de açıklandığı gibi, cam ambalaj üretimi, AB'nin toplam cam üretiminin yaklaşık %50 – 60'ını (2007'de %58) temsil eden, cam sanayiindeki en büyük sektördür. 2005 yılında yaklaşık 170 tesiste işletilen yaklaşık 300 fırın mevcuttu. Fırın tipleri arasında yandan ateşlemeli rejeneratif, arkadan ateşlemeli rejeneratif, reküperatif, elektrikli ve oksijen-gaz ateşlemeli fırınlar yer alır; bunların boyutları ise yıllık 50000 tonun altında (parfüm şişesi üretimi için 10000) olanlardan 150000 tonun üzerinde olanlara kadar geniş bir yelpazede değişiklik gösterir. Birkaç fırın içeren bir kurulumun günlük üretimi 1000 tonun üzerinde olabilir.

Bu kadar büyük ve çeşitli bir sektörde, doğal olarak, süreç girdileri ve çıktıların miktarı ve türleri arasında da önemli farklılıklar olacaktır. Ancak, bu sektörün ürünleri neredeyse tamamen soda-kireç veya değişime uğramış soda-kireç formülasyonları kullanılarak üretilmektedir ve bu nedenle cam yapım hammaddelerindeki çeşitlilik sınırlıdır.

Hammadde girdisinin üretilen eriyik miktarına oranı, kullanılan kırık seviyesine bağlı olarak değişecek ve ergitme sırasında hammaddelerden kaybedilen gaz miktarını etkileyecektir. Hammaddelerin gazının giderilmesi ve kurutulması girdinin % 3 ila % 20'sini kapsayabilir ve 1 ton cam kırıntı yaklaşık 1,2 ton işlenmemiş hammaddeye denktir. Paket/eriyik oranı, bazı özel kompleks parfüm şişesi ürünleri için %50'nin altında olabilmekle birlikte, cam proses atıklarının büyük kısmının fırına geri dönüştürüldüğü yüksek hacimli standart ambalaj ürünleri için %90'ın üzerine varabilir.

Aşağıdaki Tablo 3.9’da, prosesin temel girdi ve çıktılarına genel bakış verilmiştir. Emisyonlar, tipik orta seviye fırınları temsil etmektedir. Veriler, Avrupa Cam Ambalaj Federasyonu (FEVE) tarafından yürütülen bir anketten elde edilen değerlerle uzman görüşünün birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Bildirilen değerler yalnızca gösterge niteliğinde kabul edilmelidir. Enerji tüketimi ve emisyonlarla ilgili daha kesin veriler 3.3.2.2 kısmında verilmiştir.

Tablo 3.9: Büyük cam ambalaj üretim girdi ve çıktılarına genel bakış (gösterge değerler bir ton erimiş camı ifade eder)

Girdiler	Birimler/ton (ergitilen cam)	Aralık (ortalama değer)		
Tüketim sonrası kırık	Ton	0 -	0,85	(0,40)
Silis kumu	ton	0,04 -	0,66	(0,35)
Karbonatlar	ton	0,02 -	0,40	(0,20)
Az miktarda mineral içerikler	ton	0,002 -	0,05	(0,02)
Fırındaki refrakter malzemeler	ton	0,005 -	0,01	(0,008)
Paketleme malzemeleri	ton	0,040 -	0,080	(0,045)
Kalıplar ve diğer	ton	0,004 -	0,007	(0,005)
Enerji, toplam yakıt/gaz (*)	GJ	4 -	14	(6,5)
Enerji, elektrik toplamı (*)	GJ	0,6 -	1,5	(0,8)
Su	m ³	0,3 -	10	(1,8)
Çıktılar				
Bitmiş, paketlenmiş ürünler	ton	0,75 -	0,97	(0,91)
Atmosferik emisyonlar				
CO ₂	kg	300 -	1000	(430)
NO _x	kg	0,2 -	4,4	(2,0)
SO _x	kg	0,2 -	4,1	(1,3)
Toz (ikincil önlemler olmadan)	kg	0,2 -	0,6	(0,3)
Toz (ikincil önlemler ile)	kg	0,002 -	0,05	(0,017)
HCl (ikincil önlemler olmadan)	kg	0,02 -	0,08	(0,029)
HCl (ikincil önlemler ile)	kg	0,005 -	0,06	(0,027)
HF (ikincil önlemler olmadan)	kg	0,001 -	0,022	(0,007)
HF (ikincil önlemler ile)	kg	0,00005 -	0,007	(0,002)
Metaller (ikincil önlemler olmadan)	kg	0,0002 -	0,015	(0,004)
Metaller (ikincil azaltım ile)	kg	0,00006 -	0,002	(0,001)
H ₂ O (buharlaşma ve yanma)	ton	0,3 -	10	(1,8)
Atık su	m ³	0,2 -	9,9	(1,6)
Geri dönüşüme giden atık	ton	0,002 -	0,006	(0,005)
Diğer atıklar	ton	0,003 -	0,015	(0,005)
(*) (1) Fosil yakıtlı fırınların çalıştırıldığı tipik bir tesis için toplam enerji (fırın ve diğer).				
Kaynak: [19, CPIV 1998] [64, FEVE 2007]				

3.3.1 Proses girdileri

Cam ambalaj sektöründe kullanılan malzemelerin bir özeti Tablo 3.10'da verilmektedir.

Tablo 3.10: Cam ambalaj sektöründe kullanılan malzemeler

Açıklama	Malzemeler
Cam yapıcı malzemeler	Silis kumu, proses cam kırıkları, tüketim sonrası cam kırıkları.
Cam ara ve değiştirici malzemeleri	Sodyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, yüksek fırın cürufu, feldispat, nefelin siyenit, potasyum karbonat, filtre tozu.
Cam oksitleyiciler ve arıtıcı maddeler	Sodyum sülfat, karbon, sodyum nitrat veya potasyum nitrat
Cam renklendirici ve renk giderici maddeler	Demir kromit, demir oksit, demir sülfür, kobalt oksit, seryum oksit, selenyum veya çinko selenit.
Ürün kaplama maddeleri (sıcak kaplama)	İnorganik veya organik metal klorürler. Ağırlıklı olarak kalay tetraklorür, titanyum tetraklorür ve monobutil kalay triklörür.
Ürün yağlayıcılar	Polietilen bazlı yağlayıcılar ve yağ asitleri (örn. oleik asit)
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, bütan, propan
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kâğıt, karton ve ahşap gibi paketleme malzemeleri. Kalıp yağlayıcılar, genellikle yüksek sıcaklıkta grafit bazlı kalıp ayırıcılar. Makine yağları, ağırlıklı olarak mineral yağlar. Proses gazları, oksijen ve kükürt dioksit. Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.
Kaynak: [19, CPIV 1998]	

Prosesin en büyük girdileri, silika içeren malzemeler (kum ve cam kırıntısı) ve karbonatlardır (soda külü, dolomit ve kireç taşı). 2.4 kısmında tanımlanan cam bileşimlerini üretmek için cam harmanı hammaddeleri doğru oranlarda karıştırılır. Birçok cam ambalaj bileşiminde alışıldık olarak oksitleriyle ifade edilen silikon, sodyum ve kalsiyumun camın %90'ını oluşturur (%71 - 73 SiO₂, %12 - 14 Na₂O ve % 10 - 12 CaO). Silisyum dioksit büyük oranda cam cam kırıkları ve kumdan elde edilir. Sodyum oksit büyük oranda cam cam kırıkları ve soda külünden; kalsiyum oksit ise cam cam kırıkları, kireçtaşı ve bir düzeye kadar dolomitten elde edilir.

Pek çok cam ambalaj prosesinde, Harmandaki hammaddelerde önemli düzeyde cam kırıntısı kullanılır ve % 50'lik sektör ortalaması, tesis içi ve tüketim sonrası kırıntılardan oluşur. Tüketim sonrası kırıntı kullanımı büyük değişiklik gösterir (% 0 ila >% 80 arasında), ancak neredeyse tüm proseslerde, tesis içi cam kırıkları genellikle harmanın yaklaşık % 10'unu oluşturmak üzere geri dönüştürülür. Diğer cam yapıcı malzeme girdileri, özellikle kum, soda külü, kireçtaşı ve dolomit, kullanılan kırık miktarına ve bileşimine bağlı olarak değişecektir.

Ürün yüzey işleme malzemelerinin kullanımı, yani kaplamalar ve yağlama işlemleri, işlemde işleme değişir. Bununla birlikte, kullanılan malzeme miktarı cam yapım hammaddelerine göre çok düşük, genellikle üretim hattı başına günde birkaç kilogram düzeyindedir (bkz. 3.3.2.3 ve 4.5.1).

Kullanılan yakıtlar prosesler arasında farklılık gösterecektir, ancak cam ergitme için genel olarak fuel oil, doğal gaz ve elektrik, ayrı ayrı veya birlikte kullanılır. Ön hazneler ve tavlama tünelleri, ısıtma ve genel hizmetler için de kullanılan gaz veya elektrikle ısıtılır. Hafif fuel oil, propan ve bütan bazen yedek yakıtlar olarak kullanılır.

Cam ambalaj sektöründe suyun başlıca kullanım alanları devrelerin soğutulması ve temizliktir. Hammaddelerin ayrışmasını önlemek ve fırından toz taşınmasını azaltmak için, Harmandaki hammaddeleri nemlendirmek (% 0 ila 4 nem) amacıyla sıklıkla su (genellikle buhar halinde) kullanılır. Soğutma suyu, genellikle kapalı veya açık devrelerde, çeşitli ekipmanları ve ısıkortalardan gelen sıcak camı, buharlaşma ve temizlemeden kaynaklanan kayıplarla soğutmak için kullanılır. Fiili su tüketimi ve su buharı emisyonları yerel koşullara göre değişebilir (örn. iklim, coğrafi konum ve su girdisinin sertliği).

3.3.2 Hava emisyonları

3.3.2.1 Hammaddeler

Modern cam ambalaj proseslerinin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm³'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, transfer sayısına, tanecik boyutuna ve taşınan malzeme miktarına bağlı olacaktır.

3.3.2.2 Ergitme

Cam ambalaj sektöründe; en büyük çevresel emisyon potansiyeli, ergitme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarında mevcuttur. Salınan maddeler ve bunlarla ilişkili kaynaklar 3.2.2.1'de belirtilmiştir. Bu sektördeki fırınların çoğu, ağırlıklı olarak hem doğalgaz hem de fuel oil olmak üzere fosil yakıtlarla ısıtılmaktadır. Fakat sektörün büyük ölçeği ve geniş dağılımından dolayı işletilen fırınların çok çeşitli olması, geniş bir emisyon seviyesi aralığını beraberinde getirmektedir. Bu kısımda verilen, Avrupa Cam Ambalaj Federasyonu (FEVE) üyeleriyle yapılan bir istatistiksel çalışmadan alınan emisyon seviyelerinin ve fırın özelliklerinin detaylarını içeren tablolar, bunu açıkça gösterir niteliktedir. Veriler, 2005 referans yılı için 244'e kadar fosil yakıt fırını ve dört tamamen elektrikli fırın özelinde sağlanmıştır. Bu da AB-27'deki tesislerin yaklaşık %80'ini temsil etmektedir. Tablolarda, emisyon aralıkları, birincil tedbirler ve ikincil tekniklerin kullanılıp kullanılmadığına göre bölünmüştür.

Emisyon verilerinin, tesislerin bulunduğu ülke/bölgelerdeki raporlama gereksinimleri bağlamında yapılan analizler sonucunda elde edildiğini, kullanılan örnekleme ve ölçüm tekniklerinin homojen olmadığını unutmayın. Genellikle üç saatten daha kısa olan sınırlı bir zaman dilimine atıfta bulunurlar, bu nedenle geçici işletim koşullarına karşı hassastırlar. Ayrıca standartlaştırılmış yöntemlerin kullanımında, sonuçlar ifade edilirken verilerin belirsizliği dikkate alınmamaktadır. Bu nedenlerle, Tablo 3.13, Tablo 3.14, Tablo 3.15, Tablo 3.16 ve Tablo 3.17'de sunulan veriler, yalnızca araştırmanın yapıldığı zamanki fiili emisyon aralığının göstergesi olarak kabul edilebilir. Raporlanan emisyon verilerinin temsil edebilirliğine dair iyileştirilmiş bir gösterge sunmak açısından, ortalama/asgari/azami değerler hem veri kümesinin tümü (verinin %100'ü) hem de orta yüzde 90'lık kısım (%5'ten %95'e) için verilmiştir.

Ayrıca, araştırma sırasında IPPC'ye dayalı ilk izinlerin uygulamaya geçirilmesinin devam eden bir süreç olduğunun altı çizilmelidir. Özellikle 2003 – 2005 yılları arasında toz azaltma ekipmanlarının kurulumunda artış görülmekteydi. 2005 yılından bu yana, önemli sayıda yeni azaltma sistemi devreye alınmıştır. Sürecin devam etmesi beklenmektedir ve 2005 yılındaki araştırma sırasında birçok yeni kurulum öngörülmüştür.

Tablo 3.11, 2005'teki durumla ilgili olarak FEVE araştırmasından elde edilen fırın boyutlarının ve türlerinin istatistiksel dağılımını sunmaktadır.

Tablo 3.11: FEVE çalışmasından elde edilen fırın boyutları ve türlerine ilişkin istatistiksel veriler (2005 değerleri)

Türe göre fırın boyutu	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	Ergitilen cam (ton/gün) ⁽¹⁾		
			Ortalama	Min.	Maks.
Tüm ürün türleri					
Tüm fırın türleri	% 100	248	233	22	521
Yandan ateşlemeli, rejeneratif	% 100	55	289	130	520
Arkadan ateşlemeli, rejeneratif	% 100	152	229	40	521
Rekuperatif	% 100	29	185	22	376
Oksi yakıtlı yanma	% 100	8	180	75	305
Elektrikli	% 100	4	61	40	100
Şişe/kavanoz üretimi					
Tüm fırın türleri	% 100	222	249	56	521
Yandan ateşlemeli, rejeneratif	% 100	55	289	130	520
Arkadan ateşlemeli, rejeneratif	% 100	138	240	56	521
Rekuperatif	% 100	23	214	80	376
Oksi yakıtlı yanma	% 100	5	242	200	305
Elektrikli	% 100	1	100	100	100
Flakon üretimi					
Tüm fırın türleri	% 100	20	80	22	300
Arkadan ateşlemeli, rejeneratif	% 100	10	97	40	300
Rekuperatif	% 100	5	69	22	127
Oksi yakıtlı yanma	% 100	2	76	76	76
Elektrikli	% 100	3	47	40	60
Karışık şişe/flakon üretimi					
Tüm fırın türleri	% 100	6	147	75	245
Arkadan ateşlemeli, rejeneratif	% 100	4	171	98	245
⁽¹⁾ Cam üretimi (ton ergitilen cam/gün cinsinden), sağlanan emisyon verilerine karşılık gelen fırın çalışma koşullarını temsil eder.					
Kaynak: [126, FEVE 2009]					

Arkadan ateşlemeli rejeneratif fırınlar, pratikte tüm üretim hızlarını kapsayan örneklemin %60'ından fazlasını temsil etmektedir. Yalnızca sekiz oksi-yakıt yakma fırını (toplamın %3.2'si) rapora dâhil edilmiştir. Değerler özellikle flakon fırınlarının ortalamasıyla (yaklaşık 80 ton/gün) şişe ve kavanoz üretimi ortalaması (yaklaşık 250 ton/gün) arasındaki farka dikkat çekmektedir.

Tablo 3.12'de farklı cam renkleri için kullanılan toplam cam kırığı oranlarına ilişkin istatistiksel veriler verilmektedir. Veriler, FEVE tarafından 2005 yılı için gerçekleştirilen bir çalışmaya atıfta bulunmaktadır.

Tablo 3.12'de verilen toplam kırıntı oranları, ton erimiş cam başına toplam kırık sayısı olarak ifade edilmiştir. Çeşitli nedenlerden ötürü, değerler AB geri dönüşüm oranlarına karşılık gelmemektedir. AB verileri, AB cam üretim tesislerinde kullanılan cam kırıkları ile değil, toplanan camlarla ilgilidir. Toplanan cam, kaçınılmaz olarak belli bir kirlilik yüzdesi (%5'e kadar) içerecektir. Toplanan bütün camlar cam ambalaj üretiminde yeniden kullanılmamaktadır. AB verileri iç cam kırıklarını içermez. AB'de üretilen bütün camlar tekrar AB'de kullanılmayacak; AB'de kullanılan bütün camlar AB'de üretilmeyecektir.

Tablo 3.12: Farklı cam renkleri için FEVE araştırmasından elde edilen, AB cam ambalaj fırınları için toplam kırık oranlarına ilişkin istatistiksel veriler (2005 değerleri)

Kırık oranları	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	Fırın başına toplam kırık oranı (% cinsinden toplam kırık/erimiş ton cam) ⁽¹⁾		
			Ortalama ⁽²⁾	Min.	Maks.
Renksiz cam (renksiz)	% 100	123	33	5	74
Bal rengi	% 100	37	49	15	81
Yeşil	% 100	76	72	30	96
Diğer renkler	% 100	13	55	20	85

⁽¹⁾ Fırın başına toplam kırıntı oranları, erimiş ton başına (iç + dış) toplam kırıntı olarak ifade edilir. Değerler, AB'deki geri dönüştürülmüş cam kullanım oranlarıyla ilişkili değildir (bkz. tablonun girişinde verilen metin).

⁽²⁾ Verilen ortalama değerler, münferit fırın kırık oranlarının aritmetik ortalamasıdır ve kırık oranlarının genel ortalamasını göstermez.

Kaynak: [126, FEVE 2009]

Kırık oranları, aralığın tümü boyunca %5'ten %96'ya varan geniş bir varyasyon gösterir ve pratikte kullanımı uygun kalitede kırığın bulunabilirliğiyle sınırlıdır. Bu durum, özellikle renkli cam kırığı safsızlık düzeyinin, son ürünün renk gereksinimleriyle uyumlu olması gerektiği renksiz renksiz camcam için geçerlidir. Parfüm ve belirli birinci sınıf alkollü içkiler gibi pazarlarda, çok yüksek saflıkta renksiz cama ('ekstra renksiz cam' olarak geçer) talep vardır; bu durum bütün hammaddelerde yeterince yüksek saflık gereksinimlerini beraberinde getirir. Yani, bu durum özelinde, gözlenen değer aralığının (bütün cam renkleri ve renksiz cam) alt kısmına karşılık gelen geri dönüşüm oranı, genellikle iç cam kırıklarıyla sınırlıdır. Çoğu durumda, bu sınırlamalara en az hassas olan yeşil cam doğal olarak en yüksek kırık oranlarına ulaşmaktadır. Cam kırığı kalitesi ve bulunabilirliği Bölüm 4.8.3'te daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Belli bir fırının (veya cam renginin) kırık oranının, geri dönüştürülmüş tüketim sonrası cam arz ve talebi bağlamında, bölgesel, ulusal ve uluslararası düzeyde değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmalıdır.

Kırık oranı, ergitme teknolojisi veya fırın boyutu ne olursa olsun ergitme enerjisi üzerinde oldukça büyük bir sistematik etkiye sahiptir. Daha önce de belirtildiği gibi, pek çok durumda başta uygun kırık bulunabilirliği olmak üzere dış faktörler sınırlayıcı bir rol oynar.

Tablo 3.13'te 2005 yılında yapılan bir FEVE araştırmasından alınan farklı fırın tipleri için ergitme enerjisi değerleri ve boyut aralıkları sunulmuştur. Özgül ergitme enerjisi değerleri, bu belgede başka bir kısmında verilen bağıntı kullanılarak %50 cam kırıntısı oranına göre düzeltilmiştir (kırık camdaki her %10'luk artış için -%2,5 enerji).

%50 kırık oranına (EM50) göre düzeltilen enerji tüketim değerinin elde edilmesinde, araştırmaya dâhil olan her bir fırının toplam ergitme enerjisi tüketimi (EM – fosil yakıtlar için net ısı değer + doğrudan elektrik enerjisi), toplam kırık oranına (CT) karşılık gelen bir etken değerle çarpılmıştır. Hesaplama için kullanılan yaklaşık formül aşağıda gösterilmiştir:

$$E_{M50} = E_M / \{1 + [(50 - C_T) \times 0.025] / 10\}$$

burada:

E_{M50} (GJ/ton ergitilen) = %50 kırıntı oranına göre düzeltilmiş enerji tüketimi

E_M (GJ/ton ergitilen) = toplam ergitme enerjisi tüketimi

C_T (%) = toplam kırıntı oranı.

Hava-yakıt ve oksijen-yakıt yanması arasında basit düzeyde kıyaslama yapabilmek için, oksijeni üretmek için gereken elektrik enerjisi, özgül ergitme enerjisinin belirlenmesinde hesaba katılmalıdır. Bu kısımdaki elektrik enerjisi tüketimi hesaplamasıyla tutarlı olması açısından, oksijen üretimi için kullanılan enerji, cam tesisinde kullanıldığı gibi verilmiştir. Karşılık gelen miktar, fırın tarafından kullanılan fosil yakıtın GJ net ısı değeri başına 0.07 GJ'e eşdeğer oksijen üretimi elektrik enerjisi olarak ifade edilen, düşük tutulmuş bir sabit oran bazında tahmin edilmiştir.

Bu hesaplama, %50 toplam kırığa göre düzeltilmiş ergitergitme enerjisi hesaplamasına halihazırda dâhil edilmiştir. Bununla birlikte, kullanım noktasında 0,07 GJ'lik bir enerji tüketiminin, bu miktarda elektriği üretmek için gereken yaklaşık 0,2 GJ birincil enerjiye karşılık geldiği unutulmamalıdır.

Tablo 3.13: FEVE araştırmasından (2005 verileri) farklı fırın türleri ve boyut aralıkları için spesifik ergitergitme enerjisi

Türe göre fırın boyutu		Raporlanan veriler	Sayı değerleri	%50 toplam kırık oranına göre düzeltilmiş spesifik ergitergitme enerjisi (GJ net ısı değer/ton ergitilen)		
				Ortalama	Min.	Maks.
Arkadan ateşlemeli		% 100	153	4,8	3,4	10,7
<100	ton/gün	% 100	12	6,9	5,5	11,7
100 - 250	ton/gün	% 100	81	4,8	3,4	6,7
250 - 400	ton/gün	% 100	54	4,3	3,4	9,5
>400	ton/gün	% 100	6	4,1	3,4	5,1
Yandan ateşlemeli		% 100	56	4,6	3,3	6,6
<100	ton/gün	-	0	-	-	-
100 - 250	ton/gün	% 100	17	5,0	3,3	6,6
250 - 400	ton/gün	% 100	31	4,5	3,7	5,8
>400	ton/gün	% 100	7	4,4	3,5	5,2
Rekuperatif		% 100	29	6,3	4,1	11,6
<100	ton/gün	% 100	5	9,1	5,9	11,6
100 - 250	ton/gün	% 100	14	5,8	4,1	6,8
250 - 400	ton/gün	% 100	10	5,6	4,3	7,3
>400	ton/gün	-	0	-	-	-
Oksi yakıtlı yanma		% 100	8	4,4	3,5	5,2
Oksi-yakıt yanması + O ₂ üretimi ⁽¹⁾		% 100	8	4,7	3,8	5,5
Elektrikli		% 100	3	3,3	2,9	3,6

⁽¹⁾ Oksijen üretmek için gereken elektrik enerjisi hesaba katılmış; ancak elektriğin üretiminde kullanılan birincil enerji dikkate alınmamıştır.

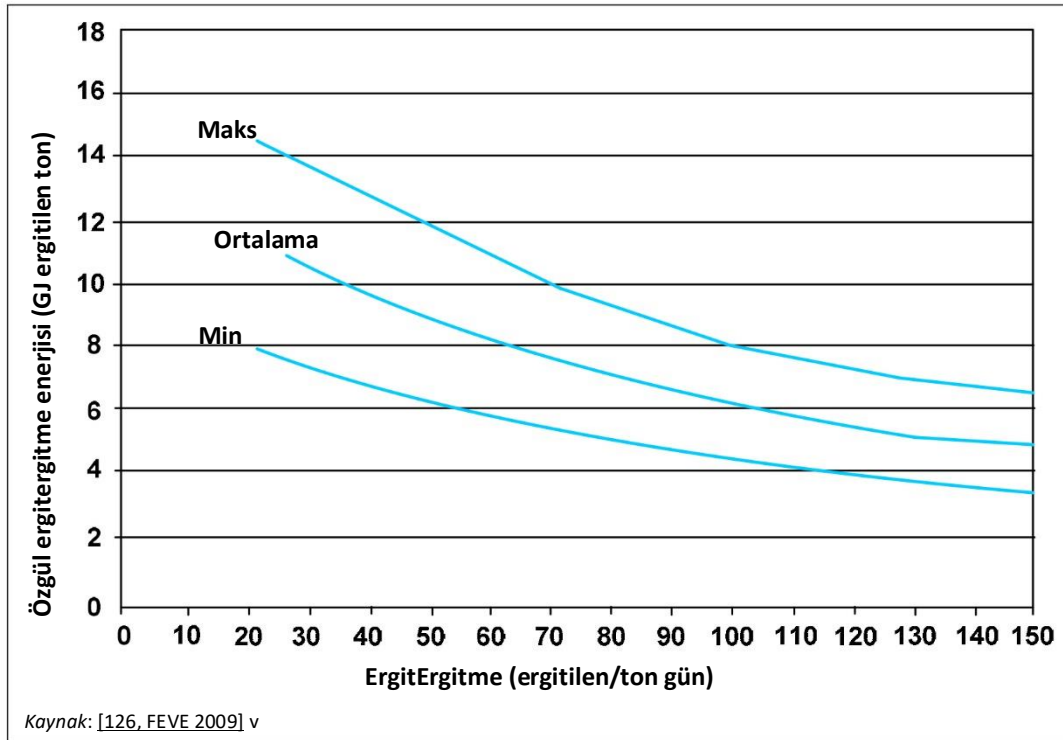
Kaynak: [64, FEVE 2007]

Arkadan ateşlemeli, yandan ateşlemeli ve oksi-yakıt ateşlemeli fırınlar karşılaştırıldığında, özgül ergitergitme enerjisi için eşdeğer ortalama değerler gözlemlenir. Oksi-yakıt ateşlemeli fırınlarda, oksijen üretimi için gereken tahmini elektrik enerjisi (birincil enerji olmadan) dikkate alınır (bkz. Tablo 3.13 ve Şekil 3.4).

Beklendiği üzere, daha küçük fırınlarda daha yüksek özgül ergitergitme enerjisi değerleri gözlenmiştir. Bu özellikle toplam ergitergitme enerjisi eğilim eğrileri Şekil 3.2'de verilen flakon üretiminin durumunda geçerlidir. Şekilde sunulan eğriler, fırın boyutunun küçülmesiyle ergitergitme enerjisi tüketiminin hızla arttığını göstermektedir. Flakon fırınları; yatırım kapasitesi, mevcut alan, temel yükü ve diğer yerel koşullar gibi farklı faktörlere bağlı olarak rejeneratif, rekuperatif, elektrik veya oksijen yakıtlı olabilir.

Şekil 3.2'de ortalama, asgari ve azami değerler, fosil yakıt tüketimi (net ısı değer) ve doğrudan elektrik enerjisinin (destekleme için kullanılan) toplamı olarak verilmektedir. Tüm elektrikli fırınlar dâhil edilmemiştir.

Ayrıca, Şekil 3.2'de sunulan eğrilerin oksijen veya elektrik üretmek için gerekli dolaylı enerji tüketimini hesaba katmadığı unutulmamalıdır.



Şekil 3.2: FEVE araştırmasından alınan, şişe üretimindeki toplam ergitme enerjisi için eğilim eğrileri (2005 verileri – elektrik desteği veya oksijen üretimi için kullanılan birincil enerji dâhil değildir)

Referans yılda (2005) FEVE çalışmasına dâhil olan cam ambalaj fırınlarının %41'i (247 fırından 101'i) ikincil önlemler tedbirleri ile donatılmıştır. Bütün durumlarda, ikincil önlemler elektrostatik toz tutucu (77 fırın) veya torbalı filtre (24 fırın) yoluyla toz azaltmanın, öncesinde gazlı asit kirleticilerin (SOX, HF, HCl) giderilmesi ve filtreleme ekipmanına zarar verebilecek asitli sülfatlı kondensatlardan kaçınma amacıyla uygulanan bir kükürtsüzleştirme aşamasıyla birlikte kullanılmasından ibarettir. O dönemden beri, elektrostatik toz tutucuların (ESP'ler) veya torbalı filtrelerin kurulumu, Direktifin ve ilgili izinlerin aşamalı olarak uygulamaya geçirilmesine paralel olarak endüstride sürdürülmektedir. Belgenin yazıldığı sırada (2010) daha yüksek sayıda fırın ESP'ler veya torba filtrelerle donatılmıştır.

FEVE araştırmasındaki fırınlarla ilgili emisyon verileri Tablo 3.14, Tablo 3.15, Tablo 3.16, Tablo 3.17 ve Tablo 3.18'de rapor edilmiştir. Sunulan veriler aşağıda verilen not esas alınarak değerlendirilmelidir.

1. Alınılan değerler, her bir durumda özel koşullara göre yapılan gerçek emisyon ölçümlerinden alınmıştır. Emisyonların izlenmesine ilişkin farklı bölgesel ve/veya ulusal yönetmelikler kapsamındaki 248 fırınla ilgili araştırmanın sonucuna, sürekli ve süreksiz ölçümlerden elde edilen veriler, saatlik ve günlük ortalama değerler dâhil edilebilir; yani, ölçüm stratejileri ve teknikleri homojen değildir ve standartlaştırılmamıştır.
2. Veriler her durumda hem raporlandığı şekliyle (%100 değerler) hem de orta yüzde 90'lık aralığı (yani değerlerin %5 – %95'i) kapsamak üzere verilmiştir; bu şekilde bir noktaya kadar yanıltıcı veri göstergelerinin hariç tutulması amaçlanmıştır.
3. %8 O₂ değerine göre düzeltilmiş derişimler olarak ifade edilen veriler, oksijen yakıtla çalışan fırınları ve elektrikli fırınların tümünü içermez.
4. Emisyon faktörleri olarak ifade edilen veriler, tüm elektrikli fırınları içermemektedir. Oksijen yakıtlı fırınlar için emisyon faktörleri raporlandığı gibi sunulmuştur. Hava yakıtlı fırınlar içinse emisyon faktörleri, doğal gaz için 385 Nm³/GJ ve fuel oil için 400 Nm³/GJ'e eşdeğer olan, %8 O₂ için standart özgül kuru atık gaz hacimlerinden türetilen dönüşüm faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır; ayrıca proses CO₂ emisyonlarının, işlenmemiş hammaddelerden kaynaklanan 92 Nm³/ton cam atık gaz hacmine (hammaddelelerden kaynaklanan 180 kg CO₂/ton cam değerine karşılık gelen hacim)

- katkısı (toplam kısıntı oranıyla ters orantılı) için bir düzeltme yapılmıştır.
5. Belirli bir emisyon derişimi için, artan fosil yakıt tüketimi ile emisyon faktörü artar; bu nedenle, daha küçük fırınlar, özellikle düşük hacimli üretim (flakon) ile ilgili olanlar, genellikle daha yüksek emisyon faktörleri ile ilişkilendirilecektir.
 6. Aynı azaltma ekipmanına iki veya daha fazla fırın bağlandığında, derişimde verilen emisyon değeri her bir fırın için aynı kabul edilir. Bu tür fırınlar için emisyon faktörleri, yukarıdaki (4) numaralı maddeye göre hesaplanan, fırın için özgül atık gaz hacmi ile çarpılan derişim değeri kullanılarak tahmin edilmektedir.

Tablo 3.14'te hem aralığın tümü (%100 veri) hem de orta yüzde 90'lık kısım (%5 – %95 veri) için toz emisyonuna ilişkin değerler sunulmaktadır.

Tablo 3.14: FEVE araştırmasından alınan (referans yılı 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan toz emisyon değerleri

Toz emisyonları										
Ergitme fırınlarından havaya salınan emisyonlar	Derişim olarak ifade edilen emisyonlar					Emisyon faktörleri olarak ifade edilen emisyonlar				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ , kuru, %8 O ₂			Raporlanan veriler	Sayı değerleri	kg/ergitilen ton		
			Ortalama	Min	Maks			Ortalama	Min.	Maks.
İkincil toz azaltma olmadan	% 100	137	150	17	430	% 100	141	0,31	0,03	1,48
	5 % - 95 %	123	150	60	330	5 % - 95 %	127	0,28	0,10	0,58
İkincil toz azaltma ile	% 100	92	10	0,01	57	% 100	95	0,019	0,000014	0,11
	5 % - 95 %	81	9,2	1,5	26	5 % - 95 %	85	0,017	0,0016	0,050
Elektrostatik toz tutucu	% 100	74	11,2	1,0	57	% 100	75	0,020	0,0020	0,106
	5 % - 95 %	65	10,2	3,7	27	5 % - 95 %	67	0,018	0,0046	0,053
Torbali filtre	% 100	18	6,0	0,01	26	% 100	20	0,013	0,000014	0,050
	5 % - 5 %	16	5,2	0,5	21	5 % - 95 %	18	0,012	0,00063	0,048
Kaynak: [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]										

Toz emisyonlarına yönelik izleme tekniklerinde, hem kullanılan teknikler hem de farklı kükürt bileşikleri arasındaki dengenin karmaşık yapısı nedeniyle hatalar meydana gelir. Ölçümlerin bağımsız ve resmi olarak tanınan laboratuvarlar tarafından yapıldığı durumlarda bile bu geçerlidir. Örneğin, düşük seviyeli toz izleme için standart yöntem EN 13284-1(2003), 4-5 mg/Nm³ aralığında bir derişim seviyesi ölçülürken yaklaşık 3 mg/Nm³ belirsizlik gösterir. Bu nedenle, Tablo 3.14'te verilen bazı yüksek veya düşük toz derişimi değerleri ölçüm hatasından kaynaklanıyor olabilir. Azaltım sistemi olmayan fırınlarla ilgili olarak tabloda belirtilen düşük değerler %5 seviyesinde dahi gerçekçi görülmemektedir, ve %95 seviyesinin üzerindeki yüksek değerler için de benzer şüpheler söz konusudur. Belirli koşullar altında, ikincil önlemler olmaksızın toz için 100 mg/Nm³ altında değerler gözlemlenebilir; ancak bu seyrek olarak karşılaşılan bir durumdur. Toz azaltma sistemleri, toz emisyonlarını 150 mg/Nm³ ortalama değerinden (Azaltım önlemleri uygulanmayan) ESP kullanımıyla 10 mg/Nm³'e ve torbali filtre kullanımıyla 5 mg/Nm³'e indirebilirler. Alınılan değerlerin başlıca kaynağının birkaç saatle sınırlı ortalama süreler boyunca yapılan resmi ölçümler olduğunun altının çizilmesi gerekir. İzleme yöntemlerinin sınırlı kesinliği göz önüne alındığında, düşük değerlere yine dikkatle yaklaşılmalıdır. Olası ölçüm hatalarının yanı sıra, daha yüksek değerler, azaltma ekipmanının performansındaki değişimlerin göstergesidir.

İkincil azaltma sistemlerinin (ESP ve torba filtreler) verimliliğini etkileyebilecek faktörler 4.4.1.2 ve 4.4.1.3'te ele alınmaktadır. Tablo 3.15'te hem aralığın tümü (%100 veri) hem de orta yüzde 90'lık kısım (%5 – %95 veri) için kükürt oksit emisyonlarına ilişkin değerler sunulmaktadır.

Cam ambalajın ergitilmesinden kaynaklanan SO_x emisyonları, kükürt kütle dengesi hususlarına göre şekillenir; girdi kaynakları yakıtlardaki kükürt içeriği (özellikle ağır fuel oil), harman formülasyonuna eklenen sülfatlar, ve cam tipine bağlı olarak, dış cam kırıkları yoluyla fırına giren kükürt olarak sıralanabilir. Harman formülasyonuna eklenen sülfürün sadece bir kısmı (hammaddeler artı kırıntılar) cam ürünlere dâhil edilir; fazlası atık gazlarla birlikte salınır veya filtre tozu olarak bırakılır.

Tablo 3.15'teki emisyon verileri gaz yakıtlı, fuel oil yakıtlı ve karma yakıtlı fırınlara bölünmüştür; yakıt seçiminin MET seçiminin kapsamı dışında değerlendirildiği ve Üye Devletlerin farklı stratejilerine ve enerji politikalarına bağlı olduğu unutulmamalıdır.

Doğal gaz yakan fırınlar için, yakıtın kükürt içeriği ihmal edilebilir düzeydedir ve SO_x emisyonları, Tablo 3.15'te görülebileceği gibi, çok geniş bir emisyon değerleri aralığında harman formülasyonundan (hammaddeler artı dış cam kırıkları) gelen katkıyla temsil edilmektedir. Aralığın tümü boyunca (en düşük 3 ve en yüksek 2100 mg/Nm³) raporlanan hem asgari hem de azami değerler, kütle dengesi hususlarının gerçekliği bakımından açıkça hatalı görünmektedir. Dengenin harman bileşeninin, orta yüzde 90'lık aralığın üstünde bile büyük farklılık gösterdiği görülmektedir, derişimler 100 mg/Nm³'ten 1000 mg/Nm³'e varmakta olup, ortalama değer yaklaşık 500 mg/Nm³'tür.

FEVE araştırmasından elde edilen veriler, ikincil toz azaltma sistemleriyle donatılmış fırınların %80'inde filtre tozunun tamamen (veya %90'dan fazla) cam eriyiğine geri dönüştürüldüğünü göstermektedir; kalan %20'lik kısım için ise hiç toz geri dönüşümü uygulanmamaktadır.

Filtre tozunun geri dönüşümü, tozun gerekli cam kalitesiyle kimyasal uyumluluğu ve tozun fiziksel doğasından kaynaklanan olası taşıma zorlukları nedeniyle kısıtlanmış olabilir.

Tablo 3.15'te sunulan verilerde, toz için ikincil önlemlerin kurulduğu yerlerde, orta yüzde 90'lık dilim için bile asgari emisyon değerlerinin (ortalama değerlere de yansımak üzere) arttığı gözlemlenebilir. Bu eğilim, yıkama sistemine sahip tesisler için daha yüksek olan başlangıç SO_x emisyon seviyelerine, ve kısmen filtre tozunun geri dönüştürülmesinin etkisine bağlanabilir.

Fuel-oil yakıtlı fırınlar için raporlanan verilerdeyse açıkça zıt bir etki gözlemlenmektedir, ancak bu durumda fuel oil kükürt içeriğindeki farklılıkların etkisi de sonuç değerlerini etkileyecektir. Karma yakıtlı fırınlar söz konusu olduğunda, ikincil toz azaltmalı fırınların daha düşük değerleri, yakıt karomasında doğal gaz oranı daha yüksek olan fırınlara karşılık gelmektedir. Bu durumda, bahsi geçen olası perdeleme etkisi daha açıkça görülmektedir (gönderilen veriler için, toz azaltma ile donatılmış fırınlar için %79 olan ortalama doğal gaz oranı, toz azaltma teknikleri olmayan fırınlar için %53'tür).

İstatistiksel bir temelde, fuel oil fırınların, doğal gazlı fırınlarakıyasla, fırın başına ortalama emisyon değerlerine ortalama olarak yaklaşık 800 mg/Nm³ katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir; bu da FEVE araştırmasındaki fırınlar için ortalama %1'in altında fuel oil kükürt içeriğine karşılık gelir.

Tablo 3.15: FEVE araştırmasından alınan (referans yılı 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyon değerleri

SOx emisyonları ⁽¹⁾										
ErgitErgitme fırınlarından havaya salınan emisyonlar	Derişim olarak ifade edilen emisyonlar					Emisyon faktörleri olarak ifade edilen emisyonlar				
	Raporlanan veriler	Sayı değeri	mg/Nm ³ , kuru, %8 O ₂			Raporlanan veriler	Sayı değeri	kg/ergitilen ton		
			Ortalama	Min.	Maks.			Ortalama	Min.	Maks.
Gaz yakıtlı	% 100	141	490	3	2100	% 100	150	0,80	0,00	2,00
	% 5-95	127	460	110	1100	% 5 - 95	127	0,88	0,20	2,00
İkincil toz azaltma olmadan	% 100	88	470	3	1830	% 100	92	0,90	0,00	3,00
	% 5 - % 95	76	439	93	950	% 5 - 95	82	0,83	0,16	2,01
İkincil toz azaltma ile ⁽²⁾	% 100	53	530	150	2100	% 100	58	0,90	0,00	3,10
	% 5-95	46	498	233	1050	% 5 - 95	52	0,86	0,25	2,23
Fuel oil yakıtlı	% 100	45	1260	350	2200	% 100	45	2,40	0,80	4,60
	% 5-95	39	1300	750	1700	% 5 - 95	39	2,41	1,41	3,20
İkincil toz azaltma olmadan	% 100	24	1260	510	2200	% 100	25	2,50	0,80	4,60
	% 5-95	20	1366	983	2188	% 5 - 95	21	2,49	1,28	4,07
İkincil toz azaltma ile ⁽²⁾	% 100	21	1260	350	1660	% 100	20	2,30	1,10	3,90
	% 5-95	20	1310	770	1662	% 5 - 95	18	2,25	1,13	3,42
Karışık petrol/gaz yakıtlı ⁽³⁾	% 100	41	705	84	1498	% 100	41	1,22	0,13	3,54
	% 5-95	34	749	139	1250	% 5 - 95	37	1,19	0,17	2,18
İkincil toz azaltma olmadan	% 100	22	919	369	1498	% 100	22	1,59	0,63	3,54
	% 5-95	18	925	554	1250	% 5 - 95	18	1,54	0,94	2,18
İkincil toz azaltma ile ⁽²⁾	% 100	19	456	84	1123	% 100	19	0,79	0,13	2,09
	% 5-95	14	575	139	1123	% 5 - 95	17	0,76	0,17	1,74
⁽¹⁾ SOx emisyonları alışıldık olarak eşdeğer miktarda SO ₂ olarak ifade edilir.										
⁽²⁾ İkincil toz azaltma ekipmanı (ESP veya torbalı filtre) genellikle asit gazı emisyonlarının giderilmesini ve/veya filtre sisteminin tıkanmasını/korozyonunu önlenmesini amaçlayan, kuru veya yarı kuru yıkama yoluyla asit gazı arıtmını içerir. Filtre tozu çoğu durumda ergitergitme fırınına geri dönüştürülür ve bu nedenle genellikle SO _x azaltma olarak kabul edilemez. Harman formülasyonuna eklenmesi, genel kükürt kütle dengesine göre genel SO _x emisyonlarını etkileyebilir.										
⁽³⁾ Araştırmada raporlanan karma doğal gaz/fuel oil yakıt verisi doğalgaz için %17 ile 98 (yani fuel oil için %2 ile 83) aralığında olup, genel ortalama (her bir fırından alınan değerler) %65 doğal gaz kullanımıdır.										
Kaynak: [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]										

Tablo 3.16'da hem aralığın tümü (%100 veri) hem de orta yüzde 90'lık kısım (%5 – %95 veri) için azot oksit emisyonlarına ilişkin değerler sunulmaktadır.

Tablo 3.16: FEVE araştırmasından alınan, farklı yakıt türleri ve fırın teknikleri için cam ambalaj fırınlarından NO_x emisyonları (referans yıl 2005)

NO _x emisyonları ⁽¹⁾											
ErgitErgitme fırınlarından havaya salınan emisyonlar		Derişim olarak ifade edilen emisyonlar					Emisyon faktörleri olarak ifade edilen emisyonlar				
		Raporlanana veriler	Sayı değerde ri	mg/Nm ³ , kuru, %8 O ₂			Raporlanan veriler	Sayı değerde ri	kg/ergitilen ton		
				Ortalama	Min.	Maks.			Ortalama	Min.	Maks.
Azaltılmamış (özel birincil tedbirler olmadan)											
Yakıt tipi	Fırın tipi										
Hepsi	Hepsi	% 100	144	1211	384	3355	% 100	144	2,30	0,60	9,30
		% 5-95	127	1171	685	2100	% 5-95	128	2,15	1,05	4,40
Gaz yakıtlı	Hepsi	% 100	99	1259	384	3355	% 100	99	2,46	0,57	9,32
		% 5-95	88	1222	700	2300	% 5-95	88	2,32	1,13	4,57
Fuel oil yakıtlı	Hepsi	% 100	25	1170	840	1990	% 100	25	2,00	1,20	3,20
		% 5-95	20	1139	850	1538	% 5-95	21	1,94	1,31	3,08
Karışık gaz/petrol yakıtlı	Hepsi	% 100	20	1025	547	2324	% 100	20	1,87	0,91	5,13
		% 5-95	18	980	588	1687	% 5-95	18	1,75	0,93	2,97
Hepsi	Arkadan ateşlemeli	% 100	83	1165	384	3355	% 100	83	2,2	0,57	9,3
		% 5-95	73	1121	671	1993	% 5-95	73	2,0	0,96	4,0
Hepsi	Yandan ateşlemeli	% 100	41	1391	650	2850	% 100	41	2,5	1,10	5,6
		% 5-95	37	1356	814	2324	% 5-95	37	2,4	1,43	4,5
Hepsi	Rekuperatif	% 100	20	1037	725	1725	% 100	20	2,5	1,23	8,3
		% 5-95	18	1016	785	1699	% 5-95	18	2,3	1,50	4,0
Birincil tedbirler (oksi-yakıt yanması hariç)											
Hepsi	Hepsi	% 100	86	915	424	2112	% 100	86	1,83	0,65	5,57
		% 5-95	76	884	521	1680	% 5-95	76	1,72	0,83	3,85
Gaz yakıtlı	Hepsi	% 100	48	1000	420	2100	% 100	50	1,90	0,30	5,00
		% 5-95	42	977	605	1725	% 5-95	44	1,86	0,72	3,88
Fuel oil yakıtlı	Hepsi	% 100	19	750	430	1730	% 100	19	1,70	0,30	5,60
		% 5-95	17	710	521	941	% 5-95	17	1,53	0,65	3,38
Karışık gaz/petrol yakıtlı	Hepsi	% 100	19	852	427	1655	% 100	19	1,49	0,80	3,76
		% 5-95	17	830	543	1600	% 5-95	17	1,39	0,83	3,02
Hepsi	Arkadan ateşlemeli	% 100	65	925	424	2112	% 100	65	1,8	0,65	5,6
		% 5-95	58	902	543	1725	% 5-95	57	1,7	0,83	3,8
Hepsi	Çapraz ateşleme	% 100	12	1029	643	1680	% 100	12	2,1	0,80	4,4
		% 5-95	10	1003	714	1600	% 5-95	10	1,9	0,99	3,7
Hepsi	Rekuperatif	% 100	9	687	427	1256	% 100	9	1,7	0,95	3,4
		% 5-95	7	643	428	925	% 5-95	7	1,6	1,06	2,2
İkincil azaltma (SCR)		% 100	4	460	460	460	% 100	4	0,81	0,69	0,95
Oksi yaktlı yanma							% 100	8	0,54	0,23	0,88

⁽¹⁾NO_x emisyonları alışıldık olarak eşdeğer miktarda SO₂ olarak ifade edilir.

Kaynak: [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]

⁽¹⁾NO_x emisyonları alışıldık olarak eşdeğer miktarda SO₂ olarak ifade edilir.

Kaynak: [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]

Veri toplamadaki fırınların yaklaşık %35'i için NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil önlemler (örn. Düşük NO_x brülörleri, kademeli yanma, baca gazı devridaimi) rapor edilmiştir. Ortalama değerler (bütün fırın ve yakıt tipleri için) arasında, birincil tedbirlerin uygulanmasına bağlı olarak, yaklaşık 1200 mg/Nm³'ten 900 mg/Nm³'e açık bir emisyon düşüşü gözlenmektedir. Ancak, her iki durumda da raporlanan değerlerin geniş aralığı, pratikte karşılaşılan durumların çeşitliliğinin göstergesidir. %100 veri setindeki bazı fırınlarda, birincil önlemler olmaksızın, 600 mg/Nm³ veya 1.0 kg/ton ergitilen cam gibi düşük değerler raporlanmıştır. Bu durum, normal işletimi yansıtmayabilen özel, elverişli işletim koşulları ve fırın konfigürasyonuna atfedilebilir. Farklı yakıt türleri ve fırın teknolojileri için emisyon verilerinin karşılaştırılması, fuel oil veya karışık gaz/fuel-oil kullanımı kullanımının doğal gaz kullanımı kullanımından daha düşük NO_x emisyonları verdiğini; arkadan ateşlemeli veya rekuperatif fırınların yandan ateşlemeli fırınlardan daha düşük NO_x emisyonları verme eğiliminde olduğunu genel olarak doğrulayıcı niteliktedir. Bu etkileri açıklayabilecek faktörler 4.4.2'de açıklanmıştır.

Yüksek değerler ($> 1500 \text{ mg/Nm}^3$) yalnızca özel durumlarda, örneğin nitratların arındırıcı/oksitleyici madde olarak gerekli olduğu durumlarda veya yüksek yerel alev sıcaklıklarının ve/veya alev bölgesine kontrolsüz hava kaçaklarının engellenmesinin zor olduğu belirli mevcut fırın konfigürasyonlarında gözlemlenmelidir.

NO_x emisyonları anlamındaki ikincil önlemler (SCR) referans yılda (2005) yalnızca bir AB ambalaj fabrikasında (ortak bir SCR sistemine bağlı dört fırın) uygulanmıştır.

Araştırmadaki sekiz oksit-fuel fırından elde edilen veriler, hava-yakıt ateşlemeli fırınlarla ortak temelde (%8 O₂) derişim bakımından karşılaştırmanın imkansızlığı nedeniyle yalnızca özgül kütle akışları olarak verilmiş, beklendiği gibi ton ergitilen cam başına 1 kg'dan az değerler gözlenmiştir.

Tablo 3.17'te hem aralığın tümü (%100 veri) hem de orta yüzde 90'lık kısım (%5 – %95 veri) için HCl ve HF emisyonuna ilişkin değerler sunulmaktadır.

Tablo 3.17: FEVE araştırmasından alınan (referans yıl 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyon değerleri

HCl ve HF emisyonları										
Ergitme fırınlarından havaya salınan emisyonlar	Derişim olarak ifade edilen emisyonlar					Emisyon faktörleri olarak ifade edilen emisyonlar				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ , kuru, %8 O ₂			Raporlanan veriler	Sayı değerleri	kg/ergitilen ton		
			Ortalama	Min.	Maks.			Ortalama	Min.	Maks.
HCl										
Tüm değerler	% 100	206	17	1,0	107	% 100	215	0,03	0	0,17
	% 5-95	185	16	1,1	37	% 5 - 95	193	0,028	0,0023	0,071
İkincil toz azaltma olmadan	% 100	116	17	1,0	48	% 100	121	0,030	0,0007	0,116
	% 5-95	99	17	1,4	39	% 5 - 95	109	0,029	0,0018	0,079
İkincil toz azaltma ile (1)	% 100	90	17	1,0	107	% 100	94	0,029	0,0018	0,170
	% 5-95	80	16	3,7	29	% 5 - 95	84	0,027	0,0047	0,059
HF										
Tüm değerler	% 100	204	3,0	0,00	74	% 100	211	0,0072	0,0002	0,267
	% 5-95	178	2,5	0,39	11	% 5 - 95	189	0,0046	0,00068	0,021
İkincil toz azaltma olmadan	% 100	116	5,0	0,00	74	% 100	121	0,0103	0,00040	0,267
	% 5-95	105	3,7	0,41	14	% 5 - 95	109	0,0066	0,00074	0,022
İkincil toz azaltma ile (1)	% 100	88	2,0	0,00	13	% 100	92	0,0029	0,00004	0,028
	% 5-95	78	1,4	0,20	4	% 5-95	82	0,0024	0,00045	0,007
(1) İkincil toz azaltma ekipmanı (ESP veya torbalı filtre) genellikle asit gazı emisyonlarının giderilmesini ve/veya filtre sisteminin tıkanmasını/korozyonunu önlenmesini amaçlayan, kuru veya yarı kuru yıkama yoluyla asit gazı arıtmını içerir. HCl ve HF'nin absorpsiyonu, kullanılan reaktifin tipine bağlıdır. Filtre tozu çoğu durumda ergitme fırınına geri dönüştürülür ve bu nedenle genellikle HCl/HF azaltma olarak kabul edilemez. Kaynak: [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]										

Düşük klorürlü sodyum karbonat (doğal birikintilerden) ve yüksek cam kırığı seviyelerinin kullanıldığı durumlarda, HCl için düşük değerler ($< 10 \text{ mg/Nm}^3$) gözlemlenebilir. Filtre tozunun geri dönüşümü ile ilişkili yerel geri dönüşüm oranlarının yüksek olması durumunda, özellikle aynı sistemde 'sıcak' yüzey işleminden kaynaklanan HCl içeren baca gazının azaltılması söz konusu olduğunda, gaz halindeki klorürün ham atık gazda aşamalı olarak birikeceği unutulmamalıdır. Bu durumda, toz emisyonu ikincil önlemleri (ESP veya önceden alkaline rekatiyle atık gaz arıtmayla beraber torbalı filtre) mutlaka en düşük emisyon değerleriyle ilişkili olmak zorunda değildir; bunun başlıca sebeplerinden biri, SO_x giderimi için yapılan şartlandırmanın aynı soğurma maddesi kullanılarak HCl azaltılması için muhtemelen ideal olmamasıdır. Alkali reaktiflerin farklı gaz halindeki kirleticilerin (SO_x, HCl, HF) giderilmesindeki etkinliği 4.4.3.3'te ele alınmaktadır.

Florür, bazı doğal hammaddelerde rastlantısal bir safsızlık olarak mevcuttur. Geri dönüştürülmüş camda da safsızlık olarak bulunabilir (örn. florürlü opal camda eser miktarlarda, kırık gereklilikleri nedeniyle hariç tutulmasına rağmen). Düşük değerler hakkında genelleme yapmak mümkün değildir, ancak bunlar hem düşük geri dönüştürülmüş cam seviyeleri hem de ikincil önlemler ile ilişkilendirilebilir. HCl söz konusu olduğunda, ESP'ler veya torba filtrelerin önceden alkali reaktifiyle atık gaz arıtımı aşaması ve filtre tozu geri dönüşümüyle beraber kullanılmasından ibaret olan ikincil önlemler sistemleri, kullanılan soğurma maddesine bağlı olarak düşük veya yüksek HF değerleriyle ilişkilendirilebilir. Bu değerler, çeşitli parametrelere (örn. rekatif tipi, işletim koşulları, girdi seviyesi) bağlı olarak özellikle olumlu veya olumsuz nitelikte durumlara karşılık gelir.

Tablo 3.18'de hem aralığın tümü (%100 veri) hem de orta yüzde 90'lık kısım (%5 – %95 veri) için metal emisyonlarına ilişkin değerler azaltım sistemli ve azaltım sistemsiz sunulmaktadır.

Azaltılma uygulanmamış atık gazlarda, özellikle düşük miktarda cam kırığı seviyeleri (kurşun safsızlıkları için), düşük vanadyumlu fuel oil ateşleme veya gazlı ateşleme ve hammaddede selenyum bulunmaması (beyaz cam hariç olmak üzere tüm durumlarda geçerlidir) gibi tercih edilen koşullarda, düşük metal seviyeleri ($<1 \text{ mg/Nm}^3$) gözlemlenebilir. Yüksek değerler ($>5 \text{ mg/Nm}^3$) genellikle yüksek kırık oranları (kurşun), yakıt ateşlemesi veya renksiz cam üretimi (selenyum) ile ilişkilidir.

Tablo 3.18: FEVE araştırmasından alınan (referans yıl 2005) azaltma sistemleri olan ve olmayan cam ambalaj fırınlarından kaynaklanan metal emisyon değerleri

Metal emisyonları ⁽¹⁾											
Ergitme fırınlarından havaya salınan emisyonlar		Derişim olarak ifade edilen emisyonlar					Emisyon faktörleri olarak ifade edilen emisyonlar				
		Raporlanan veriler	Sayı değeri	mg/Nm ³ , kuru, %8 O ₂			Raporlanan veriler	Sayı değeri	kg/ergitilen ton		
				Ortalama	Min.	Maks.			Ortalama	Min.	Maks.
Pb	İkincil toz azaltma olmadan	% 100	135	1,7	0	22	% 100	135	0,0028	0	0,0296
		% 5-95	98	1,4	0,0001	9,5	% 5 - 95	98	0,0025	0,0000002	0,013
	İkincil toz azaltma ile	% 100	95	0,2	0	2,0	% 100	95	0,0003	0	0,003
		% 5-95	77	0,21	0,000	0,90	% 5 - 95	75	0,00032	0,0000011	0,0012
Se	İkincil toz azaltma olmadan	% 100	110	0,67	0	10,0	% 100	110	0,00133	0	0,0184
		% 5-95	65	0,55	0,008	3,75	% 5 - 95	65	0,0012	0,000010	0,0065
	İkincil toz azaltma ile	% 100	87	0,13	0	1,88	% 100	87	0,0002	0	0,0030
		% 5-95	67	0,09	0,001	0,76	% 5 - 95	67	0,00014	0,000001	0,0012
Cd	İkincil toz azaltma olmadan	% 100	119	0,04	0	1,10	% 100	119	0,00007	0	0,0015
		% 5-95	75	0,038	0,00001	0,13	% 5 - 95	75	0,03824	0,00001	0,1300
	İkincil toz azaltma ile	% 100	81	0,014	0	0,15	% 100	81	0,00002	0	0,00027
		% 5-95	56	0,013	0,0001	0,08	% 5 - 95	56	0,000022	0,0000001	0,00010
As	İkincil toz azaltma olmadan	% 100	134	0,284	0	20	% 100	134	0,00052	0	0,040
		% 5-95	92	0,13	0,0000	0,67	% 5 - 95	92	0,00024	0,00000001	0,0010
	İkincil toz azaltma ile	% 100	74	0,04	0	0,47	% 100	74	0,00007	0	0,00078
		% 5-95	51	0,036	0,0002	0,10	% 5 - 95	51	0,000062	0,0000004	0,00021
N1	İkincil toz azaltma olmadan	% 100	135	0,10	0	1,0	% 100	135	0,00021	0	0,0030
		% 5-95	90	0,11	0,000009	0,37	% 5 - 95	90	0,0001931	0,00000002	0,0008
	İkincil toz azaltma ile	% 100	85	0,03	0	0,27	% 100	85	0,000048	0	0,00048
		% 5-95	61	0,022	0,0004	0,083	% 5-95	61	0,000038	0,000001	0,00022
Cr	İkincil toz azaltma olmadan	% 100	136	0,31	0	6,60	% 100	136	0,0005	0	0,0103
		% 5-95	96	0,22	0,000009	1,3	% 5 - 95	96	0,00038	0,00000002	0,0023
	İkincil toz azaltma ile	% 100	86	0,03	0	0,4	% 100	86	0,00005	0	0,0007
		% 5-95	58	0,025	0,00013	0,11	% 5 - 95	58	0,000044	0,0000004	0,00020
⁽¹⁾ Toz emisyonlarında esas olarak metaller bulunur ve bu nedenle, toz ölçümlerinde söz konusu olan kesinlik sınırları burada da aynı şekilde geçerlidir. %100 aralığına dâhil edilen sıfır değerleri, algılama sınırının altındaki değerlere karşılık gelir. Kaynak: [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]											

3.3.2.3 İlave işlemler

Sıcak yüzey kaplamalarının ve soğuk yüzey işlemlerinin uygulanması, başta HCl ve kalay bileşikleri olmak üzere duman ve buhar emisyonlarına neden olabilir.

Cam ambalajların (dış yüzey) sıcak yüzey arıtımı tipik olarak camın yüzeyinde çok ince bir kalay oksit veya titanyum oksit tabakası oluşturmaya yönelik kalay tetraklorür, organik kalay (monobütilkalay triklorür) veya titanyum tetraklorür ile yapılır. Belli farmasötik ürünlerle temas etmek üzere üretilen ambalajlar başta olmak üzere, özel durumlarda cam ambalajların iç yüzeyinin arıtımı yapılır. Verilen örnekte, süzülebilir sodyum/kalsiyum iyonlarını cam yüzeyinden iyice gidermek üzere SO_3 ile arıtım uygulanır. Diğer özel durumlarda, iyonik harekete karşı bir bariyer görevi gören değiştirilmiş bir iç temas yüzeyi oluşturmak üzere, şekillendirmeden hemen sonra şişelere/flakonlara 1.1-difloroetan enjekte edilir. Bu teknik, yüksek nemli iklimlerde uzun depolama süreleri boyunca belirli cam ambalajların iç yüzeyinde çiçeklemenin meydana gelmesinden kaçınmak amacıyla marjinal kullanım görmüştür. Kullanılan malzeme miktarı çok azdır.

Emisyon seviyeleri prosesler arasında farklılık gösterecek ve birçok faktöre, özellikle de genellikle aşırı buharları yakalamak için kullanılan emiş davlumbazlarında kullanılan hava miktarına bağlı olacaktır. Azaltma olmaksızın kalay klorür ile sıcak yüzey kaplama aktivitelerinin kullanımına ilişkin tipik emisyon değerleri genellikle Tablo 3.19'da verilen aralıktadır.

Tablo 3.19: Cam ambalaj için kalay klorür ile yüzey kaplama faaliyetlerinden kaynaklanan tipik azaltılmamış emisyon değerleri

Kirlenici	Tipik emisyon derişimleri	Tipik emisyon faktörleri
	mg/Nm ³	g/ton erimiş cam
HCl olarak gaz halindeki klorürler	15 - 300	3 - 30
Toplam partikül madde	5 - 50	1 - 70
Sn olarak Kalay (gaz + partikül)	1 - 30	0,2 - 0,8
Kaynak: [84, İtalya Raporu 2007]		

Önemli sayıda kurulumda, sıcak arıtma davlumbazlarından gelen emisyonların, fırın atık gazı ile aynı azaltma sisteminde arıtıldığını unutmayın.

Sıcak yüzey kaplamasından kaynaklanan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı diğer durumlarda, tipik derişim seviyeleri partikül madde için <10 mg/Nm³, Sn için <5 mg/Nm³ ve HCl için <30 mg/Nm³'tür.

SO_2/SO_3 içeren cam ambalajların iç yüzeyinin belirli bir baca gazı arıtımına (normalde ıslak temizleme ile) tabi tutulmadan önce işlem faaliyetlerinden kaynaklanan tipik emisyon değerleri, normalde aşağıda Tablo 3.20'de verilen aralıktadır.

Tablo 3.20: SO_3 ile cam ambalajın yüzey arıtımından kaynaklanan tipik azalmamış emisyon değerleri

Kirlenici	Tipik emisyon derişimleri	Tipik emisyon faktörleri
	mg/Nm ³	g/ton erimiş cam
SO_2 olarak kükürt oksitler	200 - 900	100 - 600
Kaynak: [84, İtalya Raporu 2007]		

Normalde arıtmadan sonraki SO_x derişim seviyeleri, SO_2 olarak ifade edilen <100 – 200 mg/Nm³ aralığındadır.

Kullanılan madde miktarının az olması nedeniyle ilave işlemlerden kaynaklanan kütle emisyonları oldukça düşüktür ve derişimler büyük ölçüde çekiş havasının miktarına bağılı olacaktır. Bu emisyonları kontrol altına alma yöntemleri 4.5.1'de ele alınmaktadır.

3.3.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Cam ambalaj sektörüne özgü difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları, fırının harman besleme alanı, forehearth, şekillendirme alanı ve yüzey arıtma işlemleriyle ilişkilidir.

Harman atma ağzına özel bir sorun, yığın bileşiminin taşınması (toz emisyonları) ve cam cam kırıklarında bulunabilecek organik maddelerin ayrışması ile ilgilidir.

Yanma gazları ve buharlaşma ürünleri forehearthndan salınabilir.

Şekillendirme alanında, biçimlendirme makineleri, yağlayıcı maddelerin buğu oluşturmalarına neden olabilecek şekilde yüksek düzeyde mekanize edilmiştir. Kalıpların ısıtımından ve tavlama tüneline yanma gazları ortaya çıkabilir.

Soğuk yüzey arıtımı organik buğular, yani polietilen ve oleik asit üretebilir.

Bütün bu özel konular normalde yürürlükte olan sağlık ve güvenlik yönetmeliklerine göre ele alınır; işyeri maruziyet seviyeleri yönünden kontrol edilirler ve önemli hava emisyonlarına yol açmazlar.

3.3.3 Suya deşarjlar

[19, CPIV 1998]

Daha önce bahsedildiği gibi, bu sektörde suyun temel kullanım alanları temizleme, soğutma suyu sistemleri, sıcak cam ıskartaları soğutma ve harman nemlendirmedir. Sulu emisyonlar; soğutma suyu sisteminden atılan sular, temizleme suları ve yüzey suyunun akması ile sınırlıdır. Temizleme suları herhangi bir endüstriyel tesiste karşılaşılanların dışında bir sorun teşkil etmez; eylemsiz katılar ve potansiyel olarak petrol içerebilir. Soğutma sisteminden atılan sularda, çözünmüş tuzlar ve su arıtma kimyasalları bulunur. Yüzey suyu kalitesi, drenajın ayrılma derecesine ve saha temizliğine bağılı olacaktır.

Sadece sıcak cam ıskartalarının soğutulması ve parçalanmasına yönelik olan devre sektöre özeldir. Bu geri dönüştürülmüş su, camın parçalanması ve kanalları taramak için kullanılan mekanik kazıyıcı sistemlerin hareketinden kaynaklanan ince cam parçacıklarını içerebilir. Camı toplama sistemine getiren kanallar, kesme ve dağıtım mekanizmalarında kullanılan makinelerden az miktarlarda yağ veya çözünür yağ/su karışımlarını da beraberinde getirebilir. Bu nedenle devrede genellikle katı-yag ayırıcısı da bulunur, bu ayırıcı aynı zamanda kalıp değişimi veya büyük miktarlarda camın soğutulması gerektiğinde, şekillendirme makinelerinde meydana gelen olaylar sırasında sistemin uygun termal eylemsizliğini sağlar. Ayrılmış cam katılar genellikle hammaddelere geri dönüştürülür. Açık devre soğutma genellikle büyük miktarlarda sıcak camın soğutulması gerektiğinde nadiren karşılaşılan ciddi olayların (ciddi ölçüde fırın sızıntısı veya şekillendirme işlemlerinin kesintiye uğramasına neden olan olaylar) kontrol altına alınabilmesi için kullanılır.

Evsel atık su hariç, deşarjlar genellikle yalnızca bir miktar petrol kontaminasyonu ve soğutma suyu sistemi arıtma kimyasalları ile birlikte cam katılarını içerir. Sektör içerisinde çöktürme, eleme, yağ ayırıcı kullanımı ve asit giderme gibi basit kirlilik kontrol teknikleriyle karşılaşılır.

3.3.4 Diğer atıklar

[19, CPIV 1998]

Cam ambalaj sektörü proses atıklarının büyük kısmını doğrudan sahada geri dönüştürür; bu özellikle şekillendirme ve kalite kontrol aşamalarından gelen cam iskartaları ile, aynı zamanda hammaddelerin taşınmasından kaynaklanan atıkları, azaltım ekipmanından kaynaklanan ve fırının atık gaz kanallarındaki sülfat bırakıntılarında kaynaklanan tozu da içerir. Ancak, kükürt içeren hammaddelerin filtre tozuyla değiştirilmesiyle mümkün olanın üstünde genel SO_x giderimine ihtiyaç duyulduğunda, veya filtre tozunun geri dönüşümü kimyası veya renk saflığı gereksinimleri itibarıyla belirli cam kalitesi sorunlarına yol açıyorsa, bir atık filtre tozu akışı oluşturulur. Bu, çok yüksek kırık oranları için de geçerli olabilir.

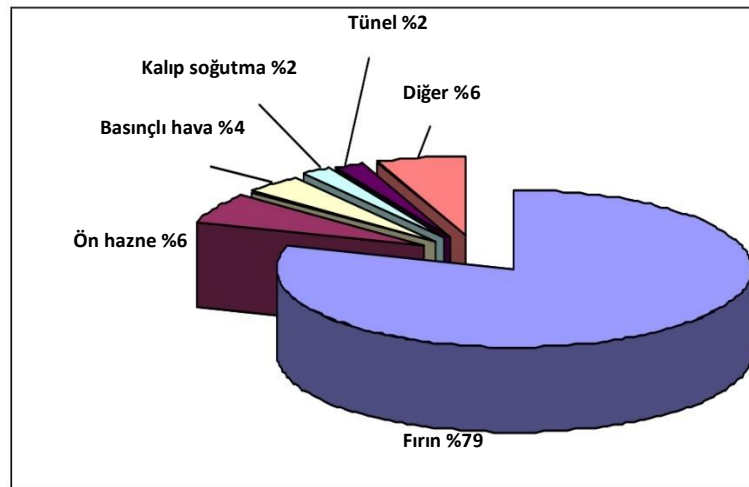
Bir fırının işletiminin sonunda, refrakter yapının tamamı sökülür ve değiştirilir. Bu işlemler, sınıflandırılan ve çoğu değerlendirilen, yaklaşık 500 ila 2 000 ton atık refrakter malzeme üretir. Bu malzemelerin sadece az bir kısmı herhangi bir fiyat değerlemesi için uygun değildir ve gerekli olması halinde uygun işlemin ardından katı atık sahasına yönlendirilir. Bazı malzemeler (örneğin silika refrakterler) öğütülebilir ve fırın içinde geri dönüştürülebilir.

Cam hammaddeleri neredeyse her zaman yığın halde teslim edilir ve ambalaj atığına yol açmaz. Ürün paketlemeden (plastik, karton ve ahşap) kaynaklanan atık malzemeler genellikle tedarikçiler veya diğer uygun kanallar aracılığıyla yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Sektöre özgü olmayan diğer atıklar, örneğin atık yağlar, variller ve diğer paketleme malzemeleri, kağıt, piller ve yağlı bezler, geleneksel yöntemlerle bertaraf edilir veya uygun durumlarda harici bir atık şirketi tarafından geri dönüştürülür.

3.3.5 Enerji

[19, CPIV 1998] [15, ETSU 1992]

Genel kullanım şişe ve kavanoz üretim sektörü için, camı ergitirmek için gerekli enerji, genel olarak cam ambalaj üretiminin toplam enerji gereksiniminin %75'inden fazlasına tekabül eder. Flakon üretimi için, ergitme enerjisi, düşük üretim hızları ve ağırlıkları ile alevle cilalama ve bezenme gibi uygulanan özel teknikler nedeniyle sahada tüketilen toplam enerjinin yalnızca %50'sini temsil edebilir. Enerji kullanımının önemli olduğu diğer alanlar ön hazneler, şekillendirme işlemi (basınçlı hava ve kalıp soğutma havası), tavlama tüneli, fabrika ısıtma ve genel hizmetlerdir. Her bir proses adımı bazında tipik enerji kullanımı Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Tipik bir şişe/kavanoz cam ambalaj fabrikasında enerji kullanımı (parfüm/kozmetik eşya üretimini temsil etmez)

ErgitErgitme süreci için, fuel oil ve doğal gaz, kimi zaman az oranda (%5'e kadar) elektrik desteği ile beraber kullanılan birincil enerji kaynaklarıdır. Birkaç tam elektrikli ergitme örneği mevcut olsa da bunlar nadirdir. Ön haznelerin ve tavlama ocaklarının ısıtılmasında elektrik veya doğal gaz kullanılmaktadır. Süreç için gerekli olan hava kompresörlerini ve fanları çalıştırmak için elektrik enerjisi kullanılır. Su pompalama, genellikle yakıt depolama ve yüzey ısıtma için buhar üretimi, harmanın nemlendirilmesi/ısıtılması ve kimi zaman binaların ısıtılmasını içeren genel hizmetler için enerjiye ihtiyaç vardır. Bazı durumlarda, genellikle daha büyük boyutlu fırınlar, gerekli buharın bir kısmını veya tamamını üreten atık ısı kazanları ile donatılmıştır.

Sürecin enerji tüketimi birçok faktöre bağlı olacaktır ve bunlardan en önemlileri 3.2.3'te özetlenmiştir.

Tablo 3.21, şişe/kavanoz ve şişe üretimi için FEVE araştırmasından elde edilen, net ton ürün başına üretim sürecinin toplam doğrudan enerji tüketimine ilişkin verileri göstermektedir; veriler hem aralığın tümü (%100 veri) hem de orta yüzde 90'lık kısım için (%5 - %95 aralığı) sunulmaktadır.

Tablo 3.21: Şişe/kavanoz ve flakon üretimi için FEVE araştırmasından alınan net ton ürün başına toplam doğrudan enerji tüketimi (tesis)

Ürün tipi	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	Özgül toplam enerji kullanımı (GJ NCV ⁽¹⁾ / net ton ürün)		
			Ortalama	Min.	Maks.
Tüm ürün türleri	% 100	65	8,7	3,7	31,5
	% 5-95	57	7,7	5,3	16,8
Şişe ve kavanoz üretimi	% 100	52	6,9	3,7	13,4
	% 5-95	46	6,9	4,7	8,5
Flakon üretimi	% 100	13	16,1	7,2	31,5
	% 5-95	11	15,5	8,3	30,9

⁽¹⁾ NCV = tüketildiği şekliyle fosil yakıtlar ve elektrik için net ısı değeri (eşdeğer birincil enerji kullanımını hesaba katmadan).
Kaynak: [126, FEVE 2009]

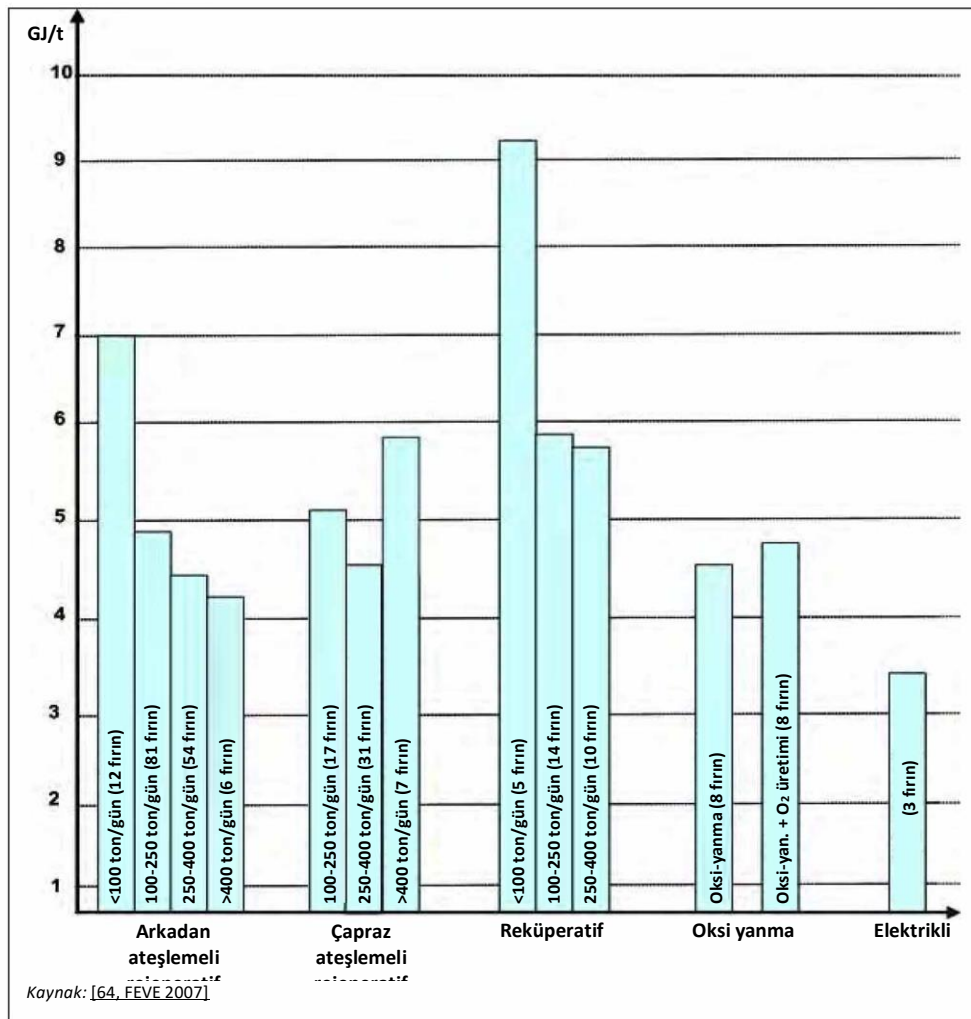
Sektörde son derece geniş bir enerji tüketim aralığı gözlenmektedir. Flakonlar (parfüm, kozmetik ve farmasötik kullanım için özel şişeler ve kavanozlar), genel kullanıma yönelik şişe ve kavanozlardan çok daha yüksek bir özgül enerji tüketimine sahiptir. Yüksek kaliteli camın (flakonlar veya parfüm kapları) ergitilmesi için gereken daha yüksek sıcaklık ve daha uzun kalma süresi, enerji tüketimini artırır. Bu cam ürünler genellikle, büyük kapasiteli ergiticilere kıyasla doğası gereği daha az verimli olan oldukça küçük fırınlarla üretilir. Ek olarak, bu ürünler için, tesiste gerçekleştirilen alevle cilalama veya emaye süsleme gibi belirli bitirme işlemlerinde enerji gerekli olup, düşük kırık oranları, daha küçük fırınlar (bkz. Tablo 3.11 ve Tablo 3.13) ve katı kalite kısıtlamalarından kaynaklanan daha düşük net üretim/ergitilen cam oranı, enerji kullanımını artıran faktörlerdir. Bitirme işlemleri, enerji tüketim aralıklarının üst değerlerini oluşturmak üzere genel kullanım şişe ve kavanoz fabrikalarında da gerçekleştirilebilir. Daha düşük değerler, özellikle daha yüksek miktarlarda uygun dış cam kırıklarla erişimi olan tesislere karşılık gelir.

Benzer bir aralık, yalnızca ergitme işlemiyle ilgili enerji verilerini bildiren Tablo 3.13 ve Şekil 3.4'te görülebilir.

Yalıtımın bozulması ve fırın atık gazlarından ısı geri kazanımının daha düşük verimliliği nedeniyle fırının yaşıyla birlikte enerji tüketimi artar. Bakımı iyi yapılmış bir rejeneratif fırın için, yaşlanmaya bağlı enerji tüketimindeki artışın yıllık %1.5 ila 3 arasında olduğu tahmin edilebilir, daha düşük değerler bakımlı fırınlara işaret etmektedir [96, TNO-TPD Enerji verimliliği kıyaslaması 2003].

Şekil 3.4, fırın tipi ve boyut aralığına göre ergitme enerjisine (%50 cam kırığına göre düzeltilmiş ton erimiş cam başına GJ) ilişkin istatistiksel verileri göstermektedir. Şekilde, özellikle günlük 100 tonun altındaki ergitme hızları için daha küçük fırınların daha yüksek tüketimle ilişkisi açıkça ortaya koyulmaktadır; ancak küçük fırınlarla ilişkili olan ürün türlerinin (flakonlar için yüksek kalite cam gibi) bu etkiyi artırdığına dikkat etmek gerekir. Belirli bir boyut aralığı için, arkadan yanmalı fırınlar yandan ateşlemeli fırınlardan biraz daha enerji verimli görünmektedir, bu da yapısal ısı kayıpları bakımından biraz daha büyük yüzey alanıyla açıklanabilir. Oksijen üretimi için gerekli elektrik enerjisi de dâhil olmak üzere, oksijenli fırınlara ilişkin veriler, daha büyük boyut aralığında rejeneratif fırınlarınkine eşdeğer bir enerji verimliliğini göstermektedir.

Harman formülasyonunda kullanılan kırık yüzdesi, fırın enerji tüketimi üzerinde yüksek ve sistematik bir etkiye sahiptir. Farklı fırın tiplerinin karşılaştırılabilir koşullar temelinde kıyaslanabilmesi için, tüketimleri %50 cam kırığı olacak şekilde standardize edilmiştir (ayrıntılar için Tablo 3.13'teki girişe bakınız).



Şekil 3.4: GJ/ton erimiş cam olarak ifade edilen ve %50 cam kırıntısına göre standartlaştırılmış cam ambalaj fırınlarındaki ortalama enerji tüketimi (2005)

3.4 Düz cam

Düz cam prosesinin ana çıktısı, doğal olarak, hammadde girdisinin yaklaşık %70'ini oluşturan üründür. Geri kalan kısım, %10 - 20 oranında, çoğunlukla karbonatların ayrışmasıyla ortaya çıkan CO₂ ile temsil edilen hava emisyonlarından oluşur; diğer %10-20'lik kısım ise kenarların düzeltilmesi, ürün üzerinde yapılan değişiklikler ve kırılan ürünlerden gelen ıskarta camdır (cam kırığı). Cam kırıkları genellikle sürekli olarak fırına geri dönüştürüldüğünden, aslında hammadde girdisinin % 85'ine yakını ürün haline getirilir.

3.4.1 Proses girdileri

[19, CPIV 1998] [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]

Düz cam üretiminde kullanılan cam bileşimi, cam sanayiinin diğer sektörlerine göre genellikle daha az varyasyona sahiptir. Yine de farklı üreticiler, hammadde tedariklerindeki belirli tercihlere veya değişikliklere bağlı olarak son bileşimin elde edilmesinde az da olsa farklı yollar tercih edebilirler. Kullanılan kırık miktarı, renklendiriciler ve hat üzerinde kaplama işlemlerinde belirli farklılıklar gözlemlenebilir. Sektörde kullanılan başlıca temel hammaddeler aşağıdaki Tablo 3.22'de listelenmiştir.

Tablo 3.22: Düz cam sektöründe kullanılan malzemeler

Açıklama	Malzemeler
Cam yapıcı malzemeler	Silika kumu, proses kırıntıları (bazen tüketim sonrası cam kırıkları da dahil).
Cam ara ve değiştirici malzemeleri	Sodyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, kalsiyum sülfat ve jips, nefelin siyenit, feldispat, yüksek fırın cürufu, karbon, ve filtre tozu.
Cam oksitleyiciler ve arıtıcı maddeler	Sodyum sülfat, karbon, sodyum nitrat
Cam renklendirici maddeler	Potasyum dikromat, demir oksit, kobalt oksit, seryum oksit, selenyum metal veya çinko selenit
Hat üzerinde kaplama işlemleri	Silikon bileşikler (örn. silikon tetraklorür, silikon karbonatlar), güçlü asit halojenürler, organik ve inorganik kalay bileşikler
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, yedek olarak hafif fuel oil
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kağıt, karton ve ahşap gibi paketlenme malzemeleri Makine yağları, ağırlıklı olarak mineral yağlar Azot, hidrojen ve kükürt dioksit gibi proses gazları Yüzdürme banyosunda kalay Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.
Kaynak: [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]	

Prosesin en büyük girdileri, silika içeren malzemeler (kum ve cam kırığı) ve karbonatlardır (soda külü, dolomit ve kireç taşı). İkinci Bölümün 2.5 kısmında tanımlanan bir dizi cam bileşimini üretmek için cam harmanı hammaddeleri doğru oranlarda karıştırılır. Tipik düz cam bileşimlerinde silikon, sodyum ve kalsiyumun oksitleri camın %98'ini oluşturur (%72,6 SiO₂, %13,6 Na₂O, %8,6 CaO ve %4,1 MgO). Silisyum dioksit temel olarak kum ve cam cam kırıklarından elde edilir; cam cam kırıkları aynı zamanda diğer oksitleri de orantısız olarak daha düşük bir düzeyde sağlar. Çoğunlukla; sodyum oksit soda külünden, kalsiyum oksit dolomit ve kireçtaşından, magnezyum oksit ise dolomitten elde edilir.

İstisnai durumlar haricinde düz cam tesislerinde tesis içi kırıntıların tamamı doğrudan fırına geri dönüştürülür. Düz cam genellikle inşaat ve otomotiv endüstrisinde kullanılacak diğer ürünler halinde işlenir ve bu ilave dönüşümden gelen cam kırıkları da çoğu durumda geri dönüştürülür. Geri dönüştürülen cam kırığı miktarı genellikle doğru kalite ve kimyasal uyuma sahip cam kırıklarının kullanılabilirliği ile sınırlıdır. Fırına verilen toplam kırık tipik olarak yaklaşık %20 civarındadır, ancak bir yüzdürme cam fırını için %10 ila 40 ve diğer düz cam türleri için %80'in üzerinde olmak üzere değişiklik gösterebilir. Fabrikasyon işlemcilerden gelen atık camlar, düz cam üretim birimlerinde giderek daha fazla yeniden kullanılmakta veya geri dönüştürülmektedir; az miktarda bulaşık atıklar ise cam ambalaj üreticileri veya diğer cam ürünlerinin üreticileri tarafından kullanılabilir. İşlemcilerden çıkan atık camın muhtemelen % 95 kadarı bir şekilde geri dönüştürülmektedir.

Hat üzeri kaplama işlemleri çok spezialize ve duruma özeldir.

Tablo 3.22, bu işlemlerde kullanılan bazı tipik ham maddeleri listeler.

Cam sanayiinin diğer alanlarında olduğu gibi, suyun temel kullanım alanları soğutma, temizleme ve harman nemlendirmedir. Düz cam, çoğunlukla tavlama tüneline 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çıkan kesintisiz bir şerit (yüzdürme cam) halinde üretilir. Fabrikada tüketilen suyun çoğu, bu sıcak şeridi soğutmak/yıkamak için kullanılır ve bulaşık olmamakla birlikte bir miktar Na₂SO₄ içerebilir. Gerçek su tüketimi ve su buharı emisyonları yerel koşullara göre değişebilir (örn. ortam sıcaklığı ve su girdisinin sertliği).

Düz cam fırınları neredeyse sadece fuel oil veya doğal gazla ateşlenir, bazı durumlarda enerji girdisinin % 10'una kadar elektrik desteği kullanılır. Oksi-yakıt desteği de kullanılabilir. Özel uygulamalara yönelik bazı küçük ölçekli elektrikli fırınlar bulunmaktadır; ABD'de üç adet oksi-fuel fırın mevcuttur. 2008 yılının sonunda, Fransa'da düz cam üretimine yönelik oksi-yakıtla çalışan bir fırın işleme alındı. Oksi-yakıt yakmanın düz cam üretiminin sektörüne uygulanması karşısında herhangi bir önemli teknik engel bulunmamaktadır. Spezialize refrakter tasarımının getirdiği yüksek maliyetler ve elektrik fiyatıyla doğrudan ilişkili oksijen maliyeti potansiyel dezavantajlardır. Belgenin yazıldığı tarihte (2010), bunlar oksi-yakıt teknolojisinin düz cam üretim sektörüne uygulanmasını sınırlandıran ana faktörlerdir.

3.4.2 Hava emisyonları

[19, CPIV 1998] [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]

3.4.2.1 Hammaddeler

Modern düz cam proseslerinin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm³'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, doğal olarak transfer sayısına ve işlenen malzeme miktarına bağlı olacaktır.

3.4.2.2 ErgitErgitme

Düz cam sektöründe; en büyük çevresel emisyon potansiyeli, ergitergitme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Salınan maddeler ve bunlarla ilişkili kaynaklar 3.2.2.1'de belirtilmiştir. Bu sektördeki fırınların tamamına yakını fosil yakıtla çalışan (hem doğalgaz hem de fuel oil) yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlardır.

Tablo 3.23'te düz cam sektöründe hava kirliliğinin kontrolüne sistemlerle donatılmış fırınlara genel bakış sunulmaktadır. Tabloda sunulan veriler, sektörde uygulanan tozun gideriminin, genellikle asit gazlı kirleticilere (SOX, HF, HCl) yönelik bir temizleme sistemi ile birlikte, 34 elektrostatik toz tutucu ve bir torba filtreden oluştuğu bir durumu referans almaktadır. NO_x kontrolü, SCR uygulamaları, Fenix teknolojisi, yanma şartlarının kontrolü (birincil tedbirler) ve 3R tekniğinden ibarettir.

Tablo 3.23: Avrupa'da düz cam sektöründe kurulu hava kirliliği kontrolü (APC) sistemlerine genel bakış

	Yıl	Toz, SO _x , HCl, HF, metallerin azaltılması		NO _x kontrolü/azaltılması		Toplam fırın sayısı
		APC ⁽¹⁾	Donanımlı	APC ⁽¹⁾	Donanımlı	
AB-15	2000	16	33,3 %	8	16,7 %	48
AB-25	2005	28	51,9 %	22	40,7 %	53
AB-27	2007	35	60,3 %	28	48,3 %	58

⁽¹⁾ APC= hava kirliliği kontrol sistemleri.
Kaynak: [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007] [127, Glass for Europe 2008]

Havaya salınan emisyonların aralığına ilişkin bir özet, aşağıdaki Tablo 3.24'te verilmiştir. Bu tablo, azaltma sistemlerinin olmadığı fırınlar ve birincil ve/veya ikincil önlemler tekniklerinin kurulu olduğu fırınlar için birbirinden ayrı değerleri göstermektedir. Veriler, normal çalışma koşulları altında renksizyüzdürme cam üreten, hem gaz hem de petrolle çalışan fırınları kapsar ve 2005 yılının ölçümelerini gösterir.

Rapor edilen veriler, Avrupa düz cam ticaret birliği (Glass for Europe) üyeleriyle yapılan bir çalışmanın sonucudur ve AB-25'i ilgilendirmektedir. Verilerin istatistiksel analizlerinden çıkarılan sonuçlar, MET-Ref'in ilk versiyonunun hazırlanması için AB-15 üyeleri arasında gerçekleştirilen önceki çalışmadan önemli farklılıklar gösteriyor olabilir. Verilerin toplanmasında kullanılan örnekleme ve ölçüm tekniklerinin tek tip olmadığını ve standart yöntemler kullanıldığında sonuçların ifade edilmesinde bunların belirsizliğinin dikkate alınmadığını unutmayın.

Tablo 3.24: Azaltım önlemleri olan ve olmayan düz cam fırınlarından kaynaklanan emisyon seviyeleri

Madde	Azaltım önlemleri uygulanmayanAzaltım önlemleri uygulanmayan fırınlar mg/Nm ³ (kg/ton ergitilen cam)	Azaltım önlemleri uygulanan fırınlar birincil/ikincil Yöntemler mg/Nm ³ (kg/ton ergitilen cam)
Azot Oksitler (NO ₂ olarak)	1250 - 2870 (2,9 - 7,4)	495 - 1250 (1,1 - 2,9)
Kükürt oksitler (SO ₂ olarak)	365 - 3295 (1,0 - 10,6)	300 - 1600 (0,5 - 4,0)
Partikül madde	80 - 250 (0,2 - 0,6)	5,0 - 30 (0,02 - 0,08)
Florürler (HF)	<1,0 - 25 (<0,002 - 0,07)	<1,0 - 4,0 (<0,002 - 0,01)
Klorürler (HCl)	7,0 - 85 (0,06 - 0,22)	4,0 - 40 (<0,01 - 0,1)
Se dışındaki metaller (Ni, V, Co, Fe, Cr)	<1,0 - 5,0 (<0,001 - 0,015)	<1,0 (<0,001)
Selenyum (renkli cam)	30 - 80 (0,08 - 0,21)	<5 (<0,015)

Not: Referans koşullar: kuru, 0 °C (273 K) sıcaklık, 101,3 kPa sıcaklık, hacmen % 8 oksijen.
Kaynak: [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]

Azaltım önlemleri uygulanmayanAzaltım önlemleri uygulanmayan fırınlar terimi, özel birincil veya ikincil kirlilik kontrol teknolojisi olmaksızın, normal olarak çalışan fırınları ifade eder.

Azaltım önlemleri uygulanmayan fırınlarda NO_x için en yüksek emisyonlar yüksek yükte çalışan gaz yakıtlı tesislerden, ve en düşük emisyonlar ise petrol yakıtlı tesislerden alınmıştır. Azaltılmalı fırınlar, Fenix işlemi gibi birincil tedbirlerle veya SCR (seçici katalitik indirgeme) veya 3R (NO_x'in kimyasal indirgemesi için hidrokarbonların akaryakıt veya doğal gazın eklenmesi) gibi ikincil tedbirlerle donatılmıştır.

Azaltım önlemleri uygulanmayan fırınlarda SO_x için en yüksek emisyonlar petrol yakıtlı tesislerden, ve en düşük emisyonlar ise gaz yakıtlı tesislerden alınmıştır.

Azaltım önlemleri uygulanmayan fırınlar için en yüksek partikül madde emisyonları petrol yakıtlı tesislerden, en düşük emisyonlar ise yüksek miktarlarda kırık ve düşük yükte çalışan gazlı tesislerden kaynaklanmıştır. Kontrolsüz bir fırından yayılan partikül madde, esas olarak, eriyikten uçucu hale gelen soda ve sülfat bileşiklerinin atık gazlardaki yoğunlaşmalarından türetilir. Partikül maddenin ana bileşeni, nispeten zararsız çözünür bir bileşik olan sodyum sülfattır. Diğer küçük bileşenler, hammaddeden, fırın yapısından ve kullanılıyorsa fuel oil'den türetilir.

Azaltım önlemleri uygulanmayan fırınlar için en yüksek HCl ve HF emisyonları, hammaddelerinde nispeten yüksek seviyelerde klorür ve florür bulunan tesislerdendir.

Azaltım önlemleri uygulanmayan fırınlardan için en yüksek metal emisyonları, petrol yakıtlı (fuel oil nikel ve vanadyum içeriği) veya renklendirici maddelerin (Se, Co, Fe ve Cr) kullanıldığı tesislerden, en düşük emisyonlar ise gaz yakıtlı şeffaf cam tesislerinden kaynaklanmaktadır. Azaltmalı fırınlardan kaynaklanan SO_x , toz, HCl, HF ve metal emisyon aralıkları, yerel izin gereksinimlerini karşılamak için asit gaz yıkamayla birlikte partikül azaltma sistemleri (elektrostatik toz tutucu ve bir örnekte torbalı filtre) işleten tesislerle ilişkilendirilmektedir. Bu koşullar altında, metal emisyonları genellikle algılama limitlerinin altındadır.

Renklendirici madde olarak selenyum içeren renkli camların üretiminde, kontrolsüz selenyum emisyonları tipik olarak 30 ila 80 mg/Nm³ arasındadır. İkincil tedbirler uygulandığında (asit gaz yıkamayla birlikte filtrasyon) emisyonlar değerleri normalde 5 mg/Nm³'ün altında, 1–3 mg/Nm³ aralığında yer almaktadır. Özellikle yakıtlı çalışan fırınlar söz konusu olduğunda, düz cam fırınlarından kaynaklanan selenyum emisyonlarının azaltılması konusunda günümüzde çok az deneyim mevcuttur.

Kontrol ekipmanının verimliliği, kullanılan reaktif türü ve rekabet eden paralel reaksiyonlarla sonuçlanan, SOX gibi diğer gaz halindeki kirleticilerin (aynı yerde soğurulacak diğer türler) baca gazında mevcut olup olmamasına bağlıdır.

3.4.2.3 İlave işlemler

Kalay banyosu bölümünün hava geçirmez şekilde mühürlenmesinden dolayı, yüzdürme banyosundan kalay buharı emisyonlarının çok düşük olduğu ölçülmüştür ve genellikle sadece işyerindeki maruz kalma seviyelerinin düşük olduğundan emin olmak için izlenir. Bu konu, bu belgede daha ayrıntılı ele alınmamaktadır.

Düz cam yüzeyinin yüzdürme banyosunun çıkışında sıcak arıtımı normalde camın kimyasal direncini geliştirmek amacıyla gerçekleştirilir. Süreç, tipik olarak 150 – 300 mg/Nm³ (0,02 – 0,04 kg/ton ergitilen cam) aralığında gaz emisyonlarına yol açan SO_2 kullanımını gerektirir [84, İtalya Raporu 2007]; ancak özel üretim durumlarında emisyonlar daha yüksek olabilir.

Düz cama uygulanan hat üzeri kaplama işlemleri her bir duruma özeldir ve dolayısıyla kullanılan hammaddeler ve salınan kirleticiler farklılık gösterecektir. Kaplama teknolojileri arasında en önemlilerinden biri olan hat üzeri pirolitik kimyasal buharlı bırakımda, gaz halindeki bir kimyasal karışım camın sıcak yüzeyi ile tepkimeye sokularak, cama bağlanan bir kaplamanın bırakımı sağlanır. Genel olarak metallere ve oksitlere oluşan çeşitli malzemeler cam yüzeyinde bırakıma uğratılır.

Metallerin metal hedeflerden cam yüzey üzerine püskürtülmesiyle yapılan kaplama uygulaması genellikle özel vakum odalarında çok düşük basınçta hat dışında gerçekleştirilir. Emisyonlar tipik olarak asit gazları (HF, HCl) ve ince partikül maddeleri (örn. silisyum ve kalay oksitleri) içerecektir.

İlave işlemler genel olarak önemli bir kaynak kütle emisyonu oluşturmazlar; bununla birlikte çoğu zaman yerel çevresel mevzuata tabidirler ve buna göre azaltma sistemleri kurulmaktadır. Bu faaliyetlerden kaynaklanan emisyon seviyeleri hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Uygulanan tipik emisyon sınır değerleri, örneğin HCl için: 10 ila 30 mg/Nm³, HF için: 5 mg/Nm³, partikül madde için: 20 mg/Nm³ ve kalay bileşikleri için: 5 mg/Nm³tür.

Ayna üretimi, düz cam sektörü için bir başka önemli ilave işlemi temsil etmektedir. Zaten Organik Çözücülerin Kullanımıyla Yüzey İşleme (STS) MET-Ref [139, Avrupa Komisyonu 2007] kapsamında olduğundan, süreç ve ilgili emisyon seviyeleri burada ele alınmayacaktır.

3.4.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Düz cam sektöründeki difüz/kaçak emisyonların ana kaynağı, ergitme fırınının harman verme alanıyla ilişkilidir.

Harman taşınmasından kaynaklanan toz emisyonları, harman formülasyonunda bulunan uçucu bileşikler içeren yanma gazları ana hususlardır. Cam renklendirmek için kullanılan selenyum, harman verme alanından salınan emisyonlarda bulunabilir. Harman verme alanından emisyonların atmosfere salınımı sıklıkla dış atım sistemleriyle sağlanır, ve tozun giderilmesinde torba filtreler kullanılır.

3.4.3 Suya deşarjlar

Daha önce ele alındığı gibi, bu sektörde suyun temel kullanım alanları temizleme, soğutma ve harman nemlendirmedir. Sulu emisyonlar; soğutma suyu sisteminden atılan sular, temizleme suları ve yüzey suyunun akması ile sınırlıdır. Temizleme suları herhangi bir endüstriyel tesiste karşılaşılanların dışında bir sorun teşkil etmez; eylemsiz katılar ve petrol içerebilir. Soğutma sisteminden atılan sularda, çözünmüş tuzlar ve su arıtma kimyasalları bulunur. Yüzey suyu kalitesi, drenajın ayrılma derecesine ve saha temizliğine bağlı olacaktır.

Evsel atık su hariç, boşaltımlar genellikle yalnızca bir miktar petrol kontaminasyonu ve soğutma suyu sistemi arıtma kimyasalları ile birlikte cam katılarını içerir. Sektör içerisinde çöktürme, eleme, yağ ayırıcılar ve asit giderme gibi basit azaltma teknikleriyle karşılaşılar.

3.4.4 Diğer atıklar

Mümkün olduğu her durumda, harman tesisinden gelen tozlar hammadde silolarına geri döndürülür ve süreçte yeniden kullanılır. Iskarta partiler, mümkün olduğu ölçüde sonraki harmanlara küçük miktarların dâhil edilmesiyle kademeli olarak sürece geri beslenir. Tipik olarak, cam yapımı işleminin sonundaki cam atığının % 99'u, kesilen parçalar, iskartalar ve hasar görmüş cam yeniden ergitilmek üzere geri gönderilir.

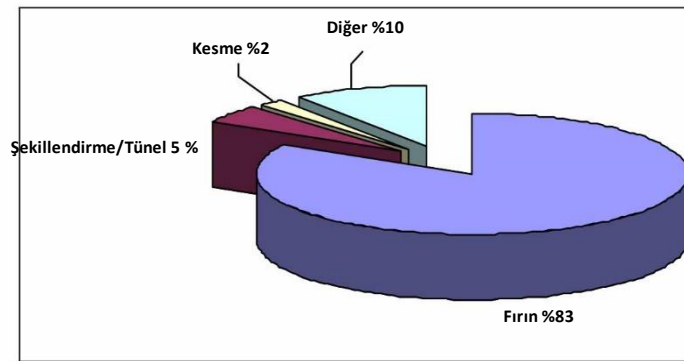
Bir fırının çalıştırılmasının sonunda, refrakter yapı (bazen rejeneratör hariç) sökülür ve değiştirilir. Cam ambalaj sektöründe olduğu gibi, bu malzeme mümkün olduğunca yeniden kullanılmak veya satılmak üzere geri kazanılır. Krom içeren malzemelerle ilgili konular 3.2.2.3'te ele alınmaktadır.

Cam hammaddelerinin büyük bir kısmı neredeyse her zaman yığın halde teslim edilir ve ambalaj atığına yol açmaz. Ürün paketlemeden (plastik, karton, ahşap vb.) kaynaklanan atık malzemeler genellikle uygun olduğu ölçüde yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Sektöre özgü olmayan diğer atıklar konvansiyonel yöntemlerle bertaraf edilir.

3.4.5 Enerji

[19, CPIV 1998][15, ETSU 1992]

Tipik bir düz cam prosesi için enerji kullanım dağılımı aşağıdaki Şekil 3.5'te gösterilmektedir, ancak belirli proseslerde enerji kullanımı az miktarda farklılık gösterebilir. Yüzdürme cam tesislerinde kullanılan enerjinin dörtte üçünden fazlasının cam ergitme için harcadığı gözlemlenebilir. Şekillendirme ve tavlama, % 5'lik bir paya sahiptir. Toplam enerjinin geri kalanı ise hizmetler, kontrol sistemleri, aydınlatma, fabrika ısıtma ve inceleme ve paketlenme gibi şekillendirme sonrası süreçler için kullanılır. Şekil 3.5'te sunulan dağılım, kurulum dışında gerçekleştirilebilecek kaplama uygulaması, kesme, termal sertleştirme, iyon değişimi işlemleri, ayna üretimi vb. gibi sonraki faaliyetleri içermemektedir.



Şekil 3.5: Tipik bir yüzdürme cam prosesi için enerji kullanım dağılımı

Yüzdürme cam fırınlarının neredeyse tümü ağır fuel oil veya doğal gazla ateşlenir, bazen %10'a kadar elektrik desteği kullanılır. Pek çok fırın, farklı brülörlerde petrol veya gazdan biriyle, ya da potansiyel olarak her ikisiyle aynı anda ateşleme kapasitesine sahiptir. Bazı elektrikli fırın örnekleri bulunmaktadır, ancak bunlar küçük ölçeklidir ve özel uygulamalar içindir. Ayrıca ABD'de 1998'de faaliyete geçen üç oksijen-yakıt fırınına ek olarak 2009'da Fransa'da yeni bir fırın faaliyete geçmiştir.

Ön hazneler (haddelenmiş camda) ve tavlama tünelleri gaz veya elektrikle ısıtılır. Süreç için gerekli olan hava kompresörlerini ve fanları çalıştırmak için elektrik enerjisi kullanılır. Genel hizmetler arasında su pompalama, yakıt depolama ve yüzey ısıtma için genellikle buhar üretimi, harmanın nemlendirilmesi/ısıtılması ve kimi zaman binaların ısıtılması yer alır. Bazı durumlarda, daha büyük boyutlu fırınlar gerekli buharın bir kısmını veya tamamını üreten atık ısı kazanları ile donatılmıştır. Sınırlı sayıda fırın, buhardan elektrik üretmek üzere türbinler ve jeneratörlerle donatılmıştır.

Sürecin enerji tüketimi birçok faktöre bağlı olacaktır; bunlardan en önemlileri 3.2.3'te özetlenmiştir. Sektör içinde karşılaşılan enerji tüketimi aralıkları diğer sektörlerle nazaran oldukça dardır, çünkü kullanılan fırın tipleri arasındaki varyasyon nispeten azdır. Özgül enerji tüketimi, büyük ölçüde fırının boyutuna bağlıdır; kapasitesi günde 800 tondan fazla olan bir fırın, günde yaklaşık 500 ton üreten bir fırına kıyasla yaklaşık %10 – 12 daha az enerji gerektirir. Fırının yaşlanması/yaşlanması, enerji tüketiminde yılda ortalama %1 – 1.3'e eşdeğer bir artışa yol açar. AB-27 tesislerinde, ergitme için enerji seviyeleri, esas olarak tesisin boyutuna ve yaşına bağlı olarak, tipik olarak 5,2 ila 8,7 GJ/ton ergitilen cam arasında olup, ortalama değer 7,5 GJ/ton camdır. Çok yüksek kapasiteli fırınlar için fırın işletiminin başlangıcında 5,0 GJ/ton erimiş cam gibi düşük değerler elde edilebilir. Prosesin geneli için spesifik enerji gereksinimleri genellikle 8,0 GJ/ton'dan azdır [75, Almanya-HVG Cam Endüstrisi raporu 2007].

3,5 Kesintisiz cam elyaf

En büyük çıktıyı oluşturan kütle akışı, hammadde girdisinin % 55 ila 80'inden meydana gelen üründür. Kayıplar hava emisyonları, katı artıklar ve sulu atıklardan kaynaklanmaktadır. Eriyik cam, fırının hammadde girdisinin yaklaşık % 80 – 85'ini temsil eder. Kaybın büyük bölümü, karbonatların ayrışmasından kaynaklanan ve özellikle CO₂ formundaki gaz emisyonlarından oluşur. Atık elyaf ve çekme cam, proses girdisinin % 10 ila 30'u arasında olabilir. Aşağıdaki Tablo 3.25, kesintisiz cam elyaf üretiminde tipik bir girdi/çıktı özeti göstermektedir.

Tablo 3.25: Kesintisiz cam elyaf sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış

		Miktar/ton ürün			
		Girdi	Birim/ünite	Çıktı	Birim/ünite
Cam yapımında kullanılan hammaddeler					
Silika		300 - 457	kg		
Kolemanit		0 - 250	kg		
Kalsiyum karbonat		300 - 411	kg		
Kil		395 - 544	kg		
Flüspat		0 - 20	kg		
Diğerleri (dolomit, yanmış kireç, borik asit vb.)		3 - 153	kg		
Hava emisyonları					
Azaltma sistemi olmadan toz				1,4 - 2	kg
Azaltma önlemi olarak düşük veya sıfır bor içeren formülasyon ile toz				<0,14 - 0,35	kg
Boru sonu azaltma sistemi ile toz				0,02 - 0,24	kg
Hammaddelerin ayrışmasından kaynaklanan CO ₂				0 - 200	kg
Yanmadan kaynaklanan CO ₂				450 - 1000	kg
Yanma/hammadde ayrışmasından kaynaklanan su buharı				180 - 800	kg
Kurutma işlemlerinden kaynaklanan su				75 - 200	kg
Hava yakıtından NO _x (NO ₂ olarak)				2,7 - 16,5	kg
Oksi-yakıttan NO _x (NO ₂ olarak)				0,3 - 2,0	kg
SO _x (SO ₂ olarak)				0,05 - 8	kg
HF				<0,5	kg
HCl				0,03-0,12	kg
Buharlaştırıcıdan, soğutmadan gelen su				3200	kg
Şekillendirme alanından, fırınlardan UOB.				0,1 - 0,5	kg
Bağlayıcı ürün dengesi					
(Tedarik edildiği şekliyle)	Polimerler (~ %50 katı)	20 - 40	kg		
(Tedarik edildiği şekliyle)	Silan	1 - 2	kg		
(Tedarik edildiği şekliyle)	Yağlayıcılar	1 - 5	kg		
(Tedarik edildiği şekliyle)	Diğerleri	0 - 10	kg		
(Kuru katılar)	Cam üzerindeki bağlayıcı			4 - 20	kg
(Kuru katılar)	Atık sudaki bağlayıcı			1 - 13	kg
(Kuru katılar)	Katı atıktaki bağlayıcı			<1	kg
	Havadaki bağlayıcı (bkz. yukarıda UOB)				kg
Su dengesi	Total	4000 - 15000	kg		
	Bağlayıcı için eklenen	<200	kg		
	Soğutma için (eklenen)	>1500	kg		
	Püskürtme, temizleme için	>3000	kg		
	Atık camda			10 - 20	kg
	Kanalizasyon suyu			2000 - 11000	kg
	Buharlaşma yoluyla havada (fırınlarda, soğutma kuleleri vb.)			1500 - 4000	kg
Katı atıklar (kuru katılar)					
	Cam elyaf			60 - 250	kg
	Bağlayıcı atıkları			1 - 13	kg
Enerji	Total	10 - 25	GJ		
Ergitme enerjisi (fırın + arıtıcı + ön hazneler)		7 - 18	GJ		

Kaynak: [19, CPIV 1998] [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]

3.5.1 Proses girdileri

Elyafın kimyasal bileşimi, cam türüne ve nihai kullanıma bağlı olarak değişir ve genellikle içerdiği elementlerin oksitleri cinsinden ifade edilir. Yukarıdaki Tablo 3.25'de verilenin ötesinde, "tipik" bir harman bileşimi tanımlamak zordur. Temel hammaddeler ergitergitmenin ardından istenen son cam bileşimlerini verecek şekilde seçilir ve harmanlanır. Hammaddeler, yığın ve eriyiğin çok yüksek düzeyde homojenliğini elde etmeye yönelik ince bir granülometri gösterir. Tipik cam türleri ve bileşim aralıkları 2.6'da gösterilmektedir. Aşağıdaki Tablo 3.26, bu bileşimleri elde etmek için kullanılan temel hammaddeleri göstermektedir.

Tablo 3.26: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan malzemeler

Açıklama	Malzemeler
Cam oluşturan malzemeler	Silis kumu
Cam ara ve değiştirici malzemeleri	Kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit, alümina silikat, kolemanit, kalsiyum borat, boraks, borik asit, feldispat, flüspat, kalsiyum sülfat, sodyum karbonat, potasyum karbonat, sodyum sülfat, çinko oksit, titanyum oksit veya rutil, zirkonyum oksit, dolomit, ve demir oksit.
Kaplama malzemeleri	Kaplama malzemesi, ürünün son kullanımına bağlı olarak değişecektir. Tipik kaplamalar şunlardır: Film oluşturmalar (örn. polivinil asetat, nişasta, poliüretan, epoksili reçineler); bağlayıcı ajanları (örn. organo-fonksiyonel silanlar); pH değiştiriciler (örn. asetik asit, hidroklorik asit, amonyum tuzları); ve yağlayıcılar (örn. mineral yağlar, yüzey aktif maddeler).
İkincil ürünler için bağlayıcılar	Polivinilasetat, doymuş polyester tozları, fenolik reçine tozları.
Yakıtlar	Fuel oil, doğalgaz, elektrik
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kağıt, karton vb. paketleme malzemeleri. Proses gazları, oksijen Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.

En büyük proses girdileri silika kumu, alkali/toprak alkali metal karbonatlar ve oksitler, alümina ve bor içeren malzemelerdir. E-cam bileşiminde silisyum, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, bor ve alüminyum oksitleri camın % 95'inden fazlasını oluşturur. Baskın oksitler ve bunların elde edildiği temel malzemeler şunlardır: SiO_2 (% 53-60 - kum); $\text{CaO} + \text{MgO}$ (% 20 - 24 - kireçtaşı, dolomit); B_2O_3 (% 0 - 10 - kolemanit, boraks, vb.); Al_2O_3 (% 11-16 - alümina); ve $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (< % 2 - soda/potas).

Kaplama malzemeleri, tipik olarak %0,5 ila %2 oranında olmak üzere, ürün kütlesinin çok küçük bir bölümünü temsil eder. Bunlar büyük oranda sulu polimer çözeltilerinden oluşurlar; bu çözeltilerin tipik olarak %50'si katılardır. Geri kalan kısım ise daha küçük miktarlarda Tablo 3.26'da belirtilen diğer malzemelerden oluşur.

Su, soğutma, temizleme, kaplama hazırlığı ve bazı durumlarda ıslak yıkama sistemleri için kullanılır. Kesintisiz cam elyaf üretiminin temel özelliklerinden biri, soğutma için çok miktarda suya ihtiyaç duyulmasıdır. Liflerin sıcaklığını 1250 ° C'den ortam sıcaklığına çok hızlı bir şekilde düşürmek için her burçta su olması gerekir. Bu soğutma, ısının burç uçlarına yakın metal çubuklara aktarılması ve su sirkülasyonu, liflerden soğuk hava geçirilmesi ve su püskürtme ile elde edilir. Soğutma suyu, fırın ve ön haznelerin çevresinde de gereklidir ve genellikle yarı kapalı devrelerde bulunur, toplam akışlar tipik olarak birkaç bin m^3/s 'tir.

Ayrıca şekillendirme/sarım alanında yıkama ve kaplama hazırlığı için de önemli miktarlarda su kullanılır. Bir ton bitmiş ürün başına toplam su tüketimi, tipik olarak 4 ile 20 m^3 arasındadır; soğutma sistemi kayıpları bu rakamın %20'sine denk gelir.

3.5.2 Hava emisyonları

3.5.2.1 Hammaddeler

Modern proseslerin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm³'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, doğal olarak transfer sayısına ve işlenen malzeme miktarına bağlı olacaktır.

3.5.2.2 ErgitErgitme

[19, CPIV 1998] [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]

Kesintisiz cam elyaf sektöründe; en büyük çevresel emisyon potansiyeli, ergitergitme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarında mevcuttur. Salınan başlıca maddeler ve bunlarla ilişkili kaynaklar 3.2.2.1'de belirtilmiştir. 2005 yılında, bu sektörde faaliyet gösteren fırınların %57'si, bazıları oksijen ve/veya elektrik desteği içeren, doğal gazla çalışan reküperatif fırınlardır (fuel-oil kullanımı artık nadir görülmektedir; çoğunlukla yoğun arz sırasında yaşanan gaz kıtlığı dönemlerinde yedek yakıt olarak kullanımla sınırlıdır). %100 oksijen-yakıtla çalışan fırın sayısı artmakta olup (2005'te %43), bunların çoğu elektrik desteklidir.

ErgitErgitme işleminden kaynaklanan toz emisyonları ağırlıklı olarak alkali ve toprak alkali sülfatlardan ve boratlardan (örn. sodyum/potasyum/kalsiyum sülfat ve sodyum/potasyum/kalsiyum borat) oluşur. Son cam ürünü yaklaşık %6 – 8 boron (B₂O₃ olarak) içerirken, toz emisyonları % 85 – 90 oranında, buharlaşma ve yoğunlaşma olaylarıyla üretilen bor bileşiklerinden meydana gelebilir. Harman bileşiminin formülasyonunda düşük veya yüksek derişimde alkali oksitlerle birlikte yüksek seviyelerde bor oksitlerin kullanımı, toz emisyonlarının oluşum mekanizmasını ve baca gazında (HBO₂ ve H₃BO₃) önemli miktarlarda gaz halinde bor bileşiklerinin varlığını belirler. E-cam gibi düşük alkali camların ve diğer borosilikat cam türlerinin farklı davranışları 4.4.1.1'de açıklanmıştır.

Özellikle bor içeren E-cam üretiminde, 60 °C'ye kadar düşebilen sıcaklıklarda gaz halinde yüksek seviyelerde bor salınır; bunun sonucunda toz ve gaz halindeki bor türleri için emisyon seviyelerinin tanınımının yapılması zor olabilir. Bu durumda, baca gazlarından borun verimli bir şekilde azaltılması, tozun filtrasyonu borun sadece bir kısmını uzaklaştırdığından, uygun bir yıkama tekniğinin uygulanmasını gerektirir. Tablo 3.27'de sunulan örnek, bir kuru yıkayıcı artı bir torba filtreye ek olarak gaz halindeki bor bileşiklerinin azaltılmasına yönelik bir yaş yıkama sistemi ile donatılmış bir üretim tesisi için, atık gaz arıtımı öncesi ve sonrasında ölçülen bor bileşiklerinin kütle akışını göstermektedir.

Tablo 3.27: Baca gazlarının farklı sıcaklıklarında ve arıtma aşamalarında bor bileşiklerinin dağılımı

Atık gaz sıcaklığı	Örnekleme koşulları	Toplam partikül	B ₂ O ₃ olarak ifade edilen toplam bor bileşikleri (partikül ve gaz halinde)
°C		kg/s	kg/s
189	Arıtılmamış atık gaz	3,14	11,2
164	Torbalı filtreden sonra	0,30	7,25
108	Torbalı filtre ve yaş yıkamadan sonra	0,29	2,96

Kaynak: [84, İtalya Raporu 2007]

Havaya emisyon aralığının bir özeti, hem birincil hem de ikincil önlemler tekniklerinin uygulanmasına ilişkin verilerin sunulduğu Tablo 3.28'de verilmektedir.

Tablo 3.28: Kesintisiz cam elyaf fırınlarının emisyon seviyeleri

Madde	mg/Nm ³ cinsinden birincil önlemler teknikleri ⁽¹⁾ (kg/ton erimiş cam)	mg/Nm ³ cinsinden ikincil önlemler teknikleri (kg/ton erimiş cam)
Hava-yakıt ateşlemeden azot oksitler (NO ₂ olarak)	600 - 1600 (2,7 - 7,2)	İkincil azaltma örneği yok
Oksi-yakıt ateşlemeden azot oksitler (NO ₂ olarak)	(0,3 - 1,9)	İkincil azaltma örneği yok
Kükürt oksitler (SO ₂ olarak)	150 - 1200 (0,75 - 6,0) (gaz yakıtlı); 3000'e kadar (15) (petrol yakıtlı)	İkincil azaltma örneği yok
Partikül madde	(<0,14 - 0,35)	5 - 50 (0,02 - 0,24)
Florürler (HF)	<20 (<0,09) (florür ilavesiz) 50 - 400 (0,25 - 2,0) (florür ilaveli)	<20 (<0,1)
Klorürler (HCl)	<10 (<0,05)	<10 (<0,05)
Grup 1 metalleri (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽²⁾	<1 (<0,0045)	<1 (<0,0045)
Grup 1+2 metalleri (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽²⁾	<3 (<0,014)	<3 (<0,014)
⁽¹⁾ Derişim (mg/Nm ³) olarak verilen değerler aşağıdaki koşulları referans alır: kuru, sıcaklık 0 °C (273K), basınç 101,3 kPa, hacimce %8 oksijen. ⁽²⁾ Grup 1 ve grup 2 metalleri tanımı için 3.2.2.1'deki Tablo 3.4'e göz atın. Kaynak: [66, APFE GÜNCELLEME IPPC Cam MET-Ref 2007]		

Toz emisyonlarının azaltılması için uygulanan birincil teknikler, harman formülasyonlarında düşük veya sıfır boron içeriği bulundurulmasıdır. Bor içermeyen formülasyonların kullanılması ve harman taşınımının iyi bir şekilde kontrol edilmesiyle, oksi-yakıt ateşlemeli fırınlarda 0,14 kg/ton erimiş camın altındaki partikül madde emisyon değerleri elde edilebilir. 0,03 kg/ton cam kadar düşük değerler bildirilmiştir; ancak bu düşük değerlerin elde edilmesinde etkili özel işletim koşulları bilinmemektedir. Çatlatma etkisine sahip hammaddeler (yani dolomit) kullanıldığında daha yüksek emisyon seviyeleri (0,35 kg/ton cama kadar) gözlemlenebilir. Birincil veya ikincil tedbirler uygulanmadığında partikül madde seviyeleri 2 kg/ton erimiş cama ulaşabilir.

Hava-yakıt ateşlemeli fırınlardan azot oksit emisyonları, artan fırın verimi ve elektrikli destekleme kullanımı durumunda özgül emisyon faktörleri (kg/ton erimiş cam) açısından daha düşük değerler göstermektedir. Daha iyi performans gösterenler yaklaşık 3,0 ila 5,0 kg/ton erimiş cam aralığındadır. Oksi-yakıt ateşlemesi sektörde yaygın olarak kullanılırken (ergitergitme fırınlarının yaklaşık %50'si), ikincil önlemler teknikleri (yani 3R, SCR, SNCR) uygulanmamaktadır.

Florür emisyonları, ergitergitme akısı olarak veya elyaflaştırma sürecini iyileştirmek için kullanılan flor içeren bileşiklerin harman formülasyonunda kullanımıyla doğrudan ilişkilidir. Bazı durumlarda, son cam ürününün kalite gereksinimini karşılamak üzere hammadde olarak florür eklenir. Gerekli olduğu düşünülen flor miktarı, fırın ve elyaf oluşturma tasarımı, verimi ve bitmiş üründe istenen elyaf çapı ile ilgili, çeşitli özel teknik faktörlere bağlı olacaktır.

Flor bazlı bileşikler harman formülasyonuna kasıtlı olarak eklenmediğinde, elde edilen HF seviyeleri, düşük değişken seviyelerde florür içeren, özellikle alümina silikat ve kaolin gibi güvenilir ve ekonomik olarak temin edilebilen hammadde kaynaklarının safsızlıklarına bağlıdır. Kaynağı ne olursa olsun, florürün bir kısmı fırından çıkan atık gazlarla salınır. Baca gazlarındaki nihai HF derişimi, harmandaki florür seviyesine ve kullanılan azaltma tedbirlerine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir.

3.5.2.3 İlave işlemler

[19, CPIV 1998]

Kaplama malzemelerinin genel olarak düşük uçuculuğu ve uygulama noktasındaki düşük cam sıcaklıkları nedeniyle, kaplama uygulamalarından hava emisyonları genellikle oldukça azdır. Bununla birlikte, şekillendirme alanındaki hava akışları, camın yeterli düzeyde soğutulmasını sağlamak için çok yüksektir; bunun sonucunda bazı damlacıkların taşınması veya organik bileşiklerin buharlaşması gerçekleşir. Çoğu durumda, çekilen soğutma havası, şekillendirme alanına bırakılmadan veya kısmen geri dönüştürülmeden önce sulu yıkama sistemleri ile arıtılır. Soğutma havası hacminin yüksek olması, emisyon derişimlerinin genellikle oldukça düşük olduğu anlamına gelir. Sınırlı ölçümlerde (daha yüksek çözücü seviyeleri ile kaplamaların kullanımı dahil) 20 mg/m³ kadar düşük seviyelerde uçucu organik bileşik (UOB) derişimleri gözlemlenmiştir.

Kaplama malzemeleri çoğunlukla su bazlıdır ve elyaf kekleri genellikle fırınlarda kurutulur. Kurutma işlemi, su buharı ve kurutma sıcaklıklarında buharlaşan uçucu maddelerin emisyonuna neden olacaktır. Kaplamalar, kurutma işlemi sırasında cama kimyasal olarak bağlanır ve emisyon seviyeleri genellikle nispeten düşüktür. Bununla birlikte, kaplama formülasyonları ve dolayısıyla emisyonlar çok çeşitli olabilir ve kurutma sürecini ilgilendiren yalnızca sınırlı sayıda ölçüm mevcuttur. Bu ölçümlerde, neredeyse algılama sınırının altındaki seviyelerden 100 g/s altına denk gelen (bu örnek için) 70 mg/m³'lük maksimuma kadar değişen UOB emisyonları görülmüştür.

Emisyonlar ayrıca, kürlenmesi veya kurutulması gereken bağlayıcıların kullanımını içeren keçe ve tül üretimindeki ikincil işlemlerden kaynaklanabilir. Yine erişilebilir çok az bilgi mevcuttur ve bu, kullanılan tekniklere ve maddelere bağlı olarak geniş bir varyasyon olduğunu gösterir. Bildirilen maksimum UOB emisyonları 150 mg/Nm³ ve 270 g/s'tir.

Özellikle kaplama ve kurutma işlemleri olmak üzere, ilave işlemlerden kaynaklanan tipik emisyon derişimleri hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Yaş yıkama sisteminden sonra gerçekleştirilen ölçümlerden elde edilen emisyon derişimleri, partikül madde (organik ve inorganik bileşikler içeren) için <20 mg/Nm³, formaldehit için <20 mg/Nm³ ve amonyak için <30 mg/Nm³ değerlerini vermektedir [84, İtalya Rapor 2007].

Kaplama malzemelerinin depolanması ve taşınması da toz veya uçucu organik bileşik (UOB) emisyonlarına neden olabilir, ancak bunlar genellikle çok düşüktür ve iyi uygulama ve yerel ekstraksiyon uygulamaları ile kontrol altına alınabilir.

3.5.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Kesintisiz cam elyaf sektöründeki difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları, ergitme fırınının harman verme alanı, forehearth ile kaplama formülasyonlarının depolanması ve hazırlanması ile ilişkilidir.

Harman ve cam homojenliği gereklilikleri nedeniyle sektör çok ince hammaddeler kullanmaktadır. Bununla birlikte, harman verme alanı normalde mümkün olduğu kadar kapalı tutulur, beklenen harman taşınması ve yanma gazlarından kaynaklanan potansiyel emisyonlar çok düşüktür.

Havalandırma ve dışa atım sistemleri, katı ve gaz halindeki emisyonları dışarıya tahliye etmek üzere genellikle forehearthnda kullanılır.

Kaplama formülasyonunun saklanması ve hazırlanması, polivinil asetat, poliüretan ve epoksili reçineler gibi organik bileşiklerin kullanımını içerir. Çalışanların potansiyel emisyonlara maruz kalmasını sınırlamak üzere normalde bu işlemlere ayrılan kapalı alanlar oluşturulur.

3.5.3 Suya deşarjlar

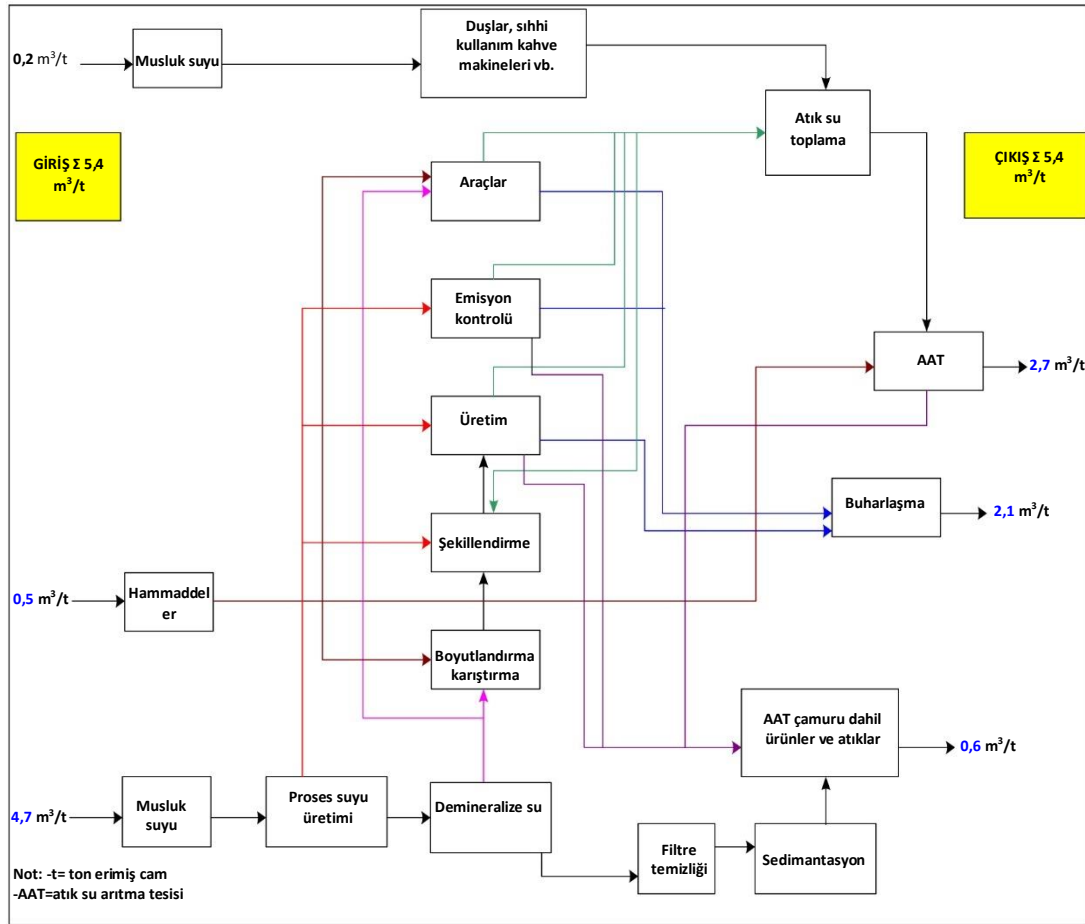
[19, CPIV 1998]

Emisyonlar şekillendirme alanı, bağlayıcı hazırlama, temizleme, soğutma, doku/mat bağlayıcı uygulaması ve su bazlı yıkama sistemlerinden kaynaklanır. Ana emisyon kaynağı şekillendirme alanıdır. Sarıcıların yüksek hızı (merkezkaç hareketi) ve liflerin şekillendirme işlemi sırasındaki hareketi nedeniyle, uygulanan bağlayıcının bir kısmı dışarı doğru sıkılarak atılır. Atılan bağlayıcı, şekillendirme ve sarım alanını periyodik olarak temizlemek için kullanılan su ile birlikte çevreleyen alanda toplanır. Liflerin üzerine püskürtülen su da aynı yerde toplanır.

Bağlayıcı hazırlama alanında atık su sistemine giden döküntüler ve sızıntılar emisyonlara neden olabilir. Yüksek hacimli soğutma suyu sistemleri, düşük seviyelerde su arıtma kimyasalları içeren bir atık akışını gerektirir. Kullanılan yıkama sistemlerinin çoğu, bir atık akışını veya periyodik bertaraf ve yıkama ortamının yenilenmesini gerektiren, devridaimli sulu yıkayıcılardır. Bir ton bitmiş ürün başına toplam su tüketimi, tipik olarak 4 ile 20 m³ aralığındadır; soğutma sistemi kayıpları (atıklar ve buharlaşma) bu rakamın %20'sine denk gelir. Buharlaşma kayıplarının teşkil ettiği açık istisna dışında, bu suyun çoğu atık su olarak deşarj edilir. Sektördeki genel uygulama, kanalizasyon arıtma işlerine boşaltım veya suyu yerinde arıtmadır. Bir kanalizasyon arıtma tesisine boşaltılması durumunda, boşaltım noktasındaki emisyon seviyeleri, ulaşılabilir emisyon seviyeleri olarak Tablo 5.5'te sunulan değerlerden önemli ölçüde yüksek olabilir.

Atık sudaki kirletici derişimleri, yıkama suyuyla seyreltmeden dolayı genellikle çok düşüktür (herhangi bir arıtma öncesi % 0,2'den az katı içeriği) ve içerikleri çoğunlukla biyobozunurdur. Kullanılan kimyasallar, herhangi bir ağır metal veya tehlikeli olarak listelenmiş madde içermez; ancak bağlayıcı bileşimlerinin geniş çeşitliliği nedeniyle, gerçek bileşim tesisler arasında büyük değişiklik gösterir. Bazı ürünler için hala krom bazlı bir bağlama maddesi kullanılmaktadır, ancak bu aşamalı olarak kullanımdan kaldırılmaktadır.

Kesintisiz cam elyaf kurulumuna özgü bir su dengesi örneği Şekil 3.6'da sunulmaktadır.



Şekil 3.6: Kesintisiz cam elyaf kurulumu için su dengesi örneği

3.5.4 Diğer atıklar

[19, CPIV 1998]

Harman tesisinde; iskarta harmanlar, döküntüler veya sızıntılardan atıklar meydana gelebilir. Süreç, hammadde kalitesine çok duyarlıdır ve genel olarak bu tür atıklar katı atık sahasına gönderilir (yılıda 5 ila 50 ton).

Ergiticiden ön haznelere iletilen erimiş cam, burç liflerinin kırılmasına ve dolayısıyla atık cam liflerine neden olabilecek küçük miktarlarda safsızlıklar (erimemiş parçacıklar) içerebilir. Bu tür kırılmaları azaltmak amacıyla, ön hazneleri besleyen kanalın tabanına bu daha yoğun erimemiş parçacıkları içeren küçük cam akışını çeken drenaj burçları takılabilir. Drenaj burçları kullanıldığında, burada toplanan cam miktarı genellikle cam eriyiğinin % 1 ila 5'idir. Toplanan cam kırıntı haline getirilmek üzere işlenebilir ve tesis içinde geri dönüştürülebilir veya başka uygulamalarda kullanılabilir. Bu malzemenin süreç içinde geri dönüşümü genellikle arzu edilmez, çünkü ayrılan safsızlıklar burçlara akarak fırına geri dönecektir. Bu, ergitilemeyen malzemenin kademeli olarak birikmesine ve potansiyel olarak drenaja daha yüksek miktarda camın gitmesine sebep olabilir.

Ürün değişimi, ambalaj değişimi, lif kırılması ve camın hala akmakta olduğu ancak satılabilir ürüne dönüştüremediği durumlarda da atık cam ve elyaf ortaya çıkar. Çok düşük çaplı (5 ila 25 µm arasında) elyafların, belirli bir miktar kırılma olmaksızın üretimi zordur. Bu nedenle atık cam elyaf miktarı nispeten yüksek olabilir ve genellikle prosesin ana atık akışlarından birini oluşturur. Atık miktarı, şekillendirme işleminin türüne ve liflerin çapına bağlı olarak, fırından çıkan toplam eriyik cam miktarının %10'u ile 25'i arasında olabilir.

Hammaddelerde veya fırının performansında ve kararlılığında sorunlar ortaya çıktığında bu miktarlar çok daha fazla artış gösterebilir. Atık lifler, %25'e kadar su ve seyreltik bağlayıcı içerir.

Elyaf kekinin bitmiş ürüne dönüştürülmesi, ürünlere bağlı olarak % 3 ila % 10 arasında değişen miktarda atığa yol açar. Kullanılmayan malzeme çoğunlukla keklerin iç ve dış kısmından gelenler, havlar, hasarlı ve iskarta malzeme, test numuneleri, kesilen keçe parçaları ve benzeridir. Genellikle atık, %0,5 ile %10 arasında (cam tülü için %20'ye kadar) kaplama malzemesi içerir ve %15'e kadar su içerebilir.

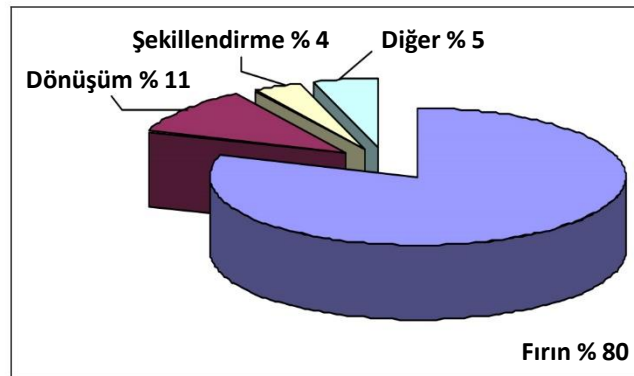
Toz azaltma ekipmanından toplanan atıkların fırına geri dönüşümü her zaman sağlanamaz. Kuru veya yaş yıkama teknikleri uygulanırsa, bu daha zor olabilir ve karıştırma veya işleme gibi ek tedbirler gerektirebilir.

3.5.5 Enerji

[19, CPIV 1998][15, ETSU 1992]

Tipik bir kesintisiz elyaf işlemi için enerji kullanımının dağılımı aşağıdaki Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Belirli işlemlerde enerji kullanımı, ergiticinin boyutuna ve sonraki işlemlerin türüne bağlı olarak değişebilir. Genel olarak enerjinin dörtte üçünden fazlasını ergitme için kullanılır. Burç ısıtma dâhil şekillendirme ve ürüne dönüştürme enerji kullanımında yaklaşık %15'lik bir paya sahiptir; geriye kalan enerji ise hizmetler, kontrol sistemleri, aydınlatma ve fabrika ısıtması için kullanılır.

2005 yılında, bu sektördeki fırınların çoğu gazla çalışan reküperatif fırınlardı ve bazılarında elektrik desteği bulunmaktaydı (ergitme enerjisinin % 20'sine kadar). Aynı yıl, oksit-fuel ergiticiler toplam fırın sayısının yaklaşık %46'sını temsil ederken, 2007 yılında bu tip fırınların payı %50 ile %55 arasındaydı. Petrol yakıtlı fırınlar ve oksijenle zenginleştirilmiş ateşleme örnekleri de mevcuttur. Reküperatif fırınların hava ön ısıtma sıcaklığı, rejeneratif fırınlara kıyasla daha düşüktür ve dolayısıyla, bir ton cam için enerji gereksinimleri daha yüksektir. Bu sektörde camın elektriksel iletkenliği çok düşüktür ve güncel durumda % 100 oranında elektrikle ergitme, ekonomik veya teknik olarak uygulanabilir kabul edilmemektedir.



Şekil 3.7: Tipik bir kesintisiz cam elyaf üretim prosesinde doğrudan enerji kullanımı

Sürecin enerji tüketimi birçok faktöre bağlı olacaktır; bunlardan en önemlileri 3.2.3'te ana hatlarıyla verilmiştir. ErgitErgitme için enerji tüketimi tipik olarak ton eriyik 7 ila 18 GJ'dür, ancak özel bileşimli camlar üreten bazı küçük fırınlar için bu değer 30 GJ/ton'a kadar çıkabilir. Genel enerji tüketimi genellikle 10 ila 25 GJ/ton ürün aralığındadır, aralığın alt ucu büyük oksijenli ateşli fırınlara karşılık gelir. Oksijen üretimi ve/veya elektrik üretimi ile ilgili dolaylı enerji tüketimi yukarıda sunulan verilere dâhil edilmemiştir. Genel olarak, 2007 verilerine (APFE üyelerinin üretimi) dayalı olarak bir ton cam başına ortalama enerji kullanımı, 12,4 GJ/ton'u fosil yakıttan (çoğunlukla doğal gaz) ve 4,1 GJ/ton'u elektrikten olmak üzere 16,5 GJ/ton bitmiş ürüne eşdeğerdir. Bu, yaklaşık 770 kg CO₂/ton ürün (fosil yakıt + proses emisyonları) değerinde CO₂ doğrudan emisyonuna karşılık gelir.

Kesintisiz cam elyaf fırınlarında maksimum tavan sıcaklıkları tipik olarak 1650 °C civarındadır, bu sıcaklık, cam ambalaj fırınları için olandan 50 °C'ye kadar, cam yünü fırınları için olandan ise 250 °C'ye kadar daha yüksektir. Daha yüksek erime sıcaklıkları, bu sektörde nispeten yüksek olan özgül enerji tüketimini artıran bir faktördür.

3,6 Cam ev eşyaları

[28, Evsel 1998] [68, Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 2007]

Birinci ve İkinci Bölümlerde açıklandığı gibi, cam ev eşyaları sektörü son derece çeşitlidir ve farklı bileşimler ve fırın türleri ile üretilen geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Bu nedenle, proses girdileri ve çıktılarında oldukça geniş bir varyasyon söz konusudur. Diğer tüm sektörlerde olduğu gibi, sürecin ana çıktısı üründür. Soda-kireç-silika cam üretiminde, net cam ürünü tipik olarak hammadde girdisinin %50 ila 90'ını (ortalama %85) temsil eder; yüksek kalite kadeh üretimi için %40 seviyesinde daha düşük değerler geçerlidir. Kurşun kristal için, paket/eriyik oranı %35 ila 80'dir (ortalama %75). Kesme ve parlatmanın daha fazla olması ve daha sıkı kalite kısıtlamaları gibi bir dizi faktör, kurşun kristal için daha düşük değerleri açıklar. Ev eşyaları için kullanılan diğer cam türleri (kristal, opal, borosilikat ve cam seramik) iki uç nokta arasında değerlere sahiptir. Aşağıdaki Tablo 3.29, soda-kireç, kristal ve kurşun kristal için ana girdi ve çıktı parametrelerini özetlemektedir. Diğer cam ev eşyası türleri için değerler verilen örnekler arasında yer almaktadır.

Raporlanan veriler, Avrupa cam ev eşyası birliği üyeleriyle yapılan bir çalışmanın sonucudur ve AB-25'i ilgilendirmektedir. Sektörün 2000 yılından bu yana pazardaki güçlü gelişmelerden etkilendiği, bunun sonucunda da diğer kristal türlerinin üretildiği ve yeni AB Üye Devletlerinden (örn. Çek Cumhuriyeti) önemli kristal üreticilerinin veri toplamaya dâhil edildiği, hem formülasyonlarda hem de üretimde kullanılan teknolojilerde önemli değişiklikler olduğu unutulmamalıdır. Bunlar, Tablo 3.29'da raporlanan emisyon değerleri aralığının genişliğinin nedenleridir.

Tablo 3.29: Cam ev eşyaları sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış

	Birim/ton ergitilen cam	Soda-kireç camı ⁽¹⁾	Kristal ve kurşun kristal
		Aralık (ortalama değer)	Aralık (ortalama değer)
Girdiler			
Enerji, petrol/gaz	GJ	5 - 14 (9)	0,5 - 5 (3)
Enerji, elektrik	GJ	1 - 4 (2,5)	1 - 6 (4)
Silis kumu	ton	0,65 - 0,75 (0,6)	0,20 - 0,50 (0,42)
Karbonatlar	ton	0,3 - 0,42 (0,34)	0,08 - 0,20 (0,14)
Kurşun oksit	ton		0 - 0,30 (0,18) ⁽²⁾
Az miktarda mineral içerikler	ton	0,02 - 0,08 (0,04)	0,005 - 0,02 (0,01)
Tesis içi cam kırığı	ton	0,15 - 0,5 (0,25)	0,25 - 0,65 (0,35)
Paketleme malzemeleri	ton	0,06 - 0,20 (0,1)	0,06 - 0,20 (0,1)
Kalıplar ve diğer	ton	0,001 - 0,003 (0,002)	0,001 - 0,003 (0,002)
Su	m ³	2 - 9 (7)	2 - 55 (11)
Hidroflorik asit (% 100)	kg/t asit parlatmalı cam ⁽³⁾		40 - 130 (65)
Sülfürik asit (%96)	t/t HF (%100) ⁽³⁾		1-10 (5)
Sodyum hidroksit	t/t HF (%100) ⁽³⁾		0-0,2 (0,1)
Kalsiyum hidroksit	t/t HF (%100) ⁽³⁾		1 - 10 (4)
Temiz yıkama suyu	t/t HF (%100) ⁽³⁾		0,025 - 0,07 (0,05)
Çıktılar			
Bitmiş, paketlenmiş ürünler	ton	0,4 - 0,9 (0,85)	0,35 - 0,8 (0,75)
Hava emisyonları			
CO ₂		150 - 1000 (700)	150 - 400 (300)
NO _x		0,2 - 6 (2,5)	0 - 11 (2,7)
SO _x		0,1 - 1,0 (0,5)	0,1 - 0,3 (0,2)
Toz		0,001 - 0,3 (0,2)	0,001 - 0,3 (0,03)
H ₂ O		60 - 500 (300)	60 - 250 (120)
Atık su	m ³	2-9 (6)	2 - 54 (11)
Tesis içi cam kırığı	ton	0,15 - 0,4 (0,25)	0,25 - 0,65 (0,35)
Geri dönüşüme giden atık	kg	10 - 60 (30)	10 - 60 (30)
Diğer atıklar	kg	6 - 50 (10)	6 - 50 (10)
Geri dönüşüme giden atık:	t/t HF (%100) ⁽³⁾		0,2 - 1,5 (0,8)
PbSO ₄ veya PbCO ₃ CaSO ₄	t/t HF (%100) ⁽³⁾		2-20 (7,5)
Bertaraf edilecek atık: Kesme çamuru	t/t HF (%100) ⁽³⁾		0,3 - 0,7 (0,45)
Ağır metal çamuru	t/t HF (%100) ⁽³⁾		0,1 - 0,5 (0,3)
⁽¹⁾ Bu veriler konvansiyonel fırınlar içindir (elektrikli fırınları kapsamaz) ⁽²⁾ Kurşun oksit girişi ile ilgili olarak, aralık 69/493/AET sayılı Konsey Direktifine göre sınıflandırılan tüm kristal ve kurşun kristal cam formülasyonlarını içerir. ⁽³⁾ Asitli parlatma ile ilgili olarak, yüzey/hacim oranını hesaba kattığı için % 100 hidroflorik asit tüketimi en iyi referans parametredir. % 100 HF tüketimi/ton asitle parlatılmış cam oranı, yüzey alanı/hacim oranına ve dolayısıyla parlatılan nesnelerin türlerine bağlı olacaktır. Kaynak: [68, Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 2007]			

3.6.1 Proses girdileri

Proses girdileri, yapılan ürüne ve gerekli cam bileşimine bağlı olarak değişecektir. Başlıca cam türleri, soda-kireç, kurşunlu kristal, kristal, borosilikat, opak ve cam seramiklerdir. Sektörde kullanılan ana hammaddeler Tablo 3.30'da ana hatlarıyla verilmiştir.

Tablo 3.30: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan malzemeler

	Malzemeler
Cam oluşturan malzemeler	Silika kumu, proses kırıntıları, bor içeren hammaddeler (örn. boraks, üleksit, borik asit, kolemanit)
Cam ara ve değiştirici malzemeleri	Sodyum karbonat, potasyum karbonat, baryum karbonat, kireçtaşı, dolomit, alümina, nefelin siyenit, arsenik, antimon karbon, kurşun oksit, flüspat, titanyum dioksit
Cam oksitleyiciler ve arıtıcı maddeler	Sodyum sülfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat
Cam renklendirici ve renk giderici maddeler	Krom, demir, kobalt, bakır, manganez, nikel, kadmiyum ve selenyum veya çinko selenit, seryum
Ürün kaplama maddeleri	İnorganik veya organik metal klorürler. Ağırlıklı olarak kalay tetraklorür, titanyum tetraklorür ve monobutil kalay triklörür.
Ürün yağlayıcılar	Polietilen bazlı yağlayıcılar ve yağ asitleri (örn. oleik asit)
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, bütan, propan, asetilen
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kağıt, karton ve ahşap gibi paketleme malzemeleri. Kalıp yağlayıcılar, genellikle yüksek sıcaklıkta grafit bazlı kalıp ayırıcılar. Makine yağları, ağırlıklı olarak mineral yağlar. Oksijen ve hidrojen içeren proses gazları. Parlatma malzemeleri, büyük ölçüde güçlü mineral asitlerle (HF, H ₂ SO ₄) birlikte NaOH. Bezeme malzemeleri, emayeler, kumlar. Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.

İstenen cam bileşimlerini üretmek için cam harmanı hammaddeleri doğru oranlarda karıştırılır. Soda-kireç camında, silikon, sodyum ve kalsiyumun oksitleri camın %90'ını oluşturur (%71 - 73 SiO₂, %12 - 14 Na₂O ve % 10 - 12 CaO). Silisyum dioksit büyük oranda kum ve cam cam kırıklarından elde edilir. Sodyum oksit büyük oranda soda külünden ve kalsiyum oksit ise kireçtaşından elde edilir. Kurşunlu kristal için tipik bir bileşim, %54 -65 SiO₂, % 25 - 30 PbO, % 13 - 15 Na₂O veya K₂O ile az miktarlarda çeşitli diğer bileşenlerden oluşur. Kristal cam formülasyonlarında, kurşun oksit kısmen veya tamamen baryum, çinko veya potasyum oksitlerle değiştirilir; bunların sınırları 69/493/AET sayılı Direktifte tanımlanmıştır. Borosilikat camlar, bor bileşiklerinden (boron trioksit, B₂O₃ olarak ifade edilir) daha yüksek oranda silisyum bileşiklerini kullanılarak üretilir. Tipik bir bileşim, %70-80 SiO₂ % 7-15% B₂O₃, % 4-2 Na₂O veya K₂O ve % 2-7 Al₂O₃ içerir. Borosilikat cam bileşimindeki bor içeriği, boraks veya diğer bor içeren malzemelerden (borik asit, üleksit, kolemanit) türetilir ve alüminyum oksit esas olarak alüminadan türetilir.

Opak cam formülasyonunun esas olarak silisyum, sodyum, kalsiyum, alüminyum ve potasyum oksitleriyle ifade edilir, ancak aynı zamanda flüspat gibi minerallerden elde edilen yaklaşık % 4-5 oranında florür de içerirler. Seramik camda baskın olan oksitler, silikon, alüminyum, sodyum ve kalsiyum ile daha düşük seviyelerde magnezyum, baryum, çinko, zirkonyum, lityum ve titanyumdur. Sektör içinde kırık kullanımı değişiklik gösterir; çoğu işlem tesis içi cam kırıkları geri dönüştürür, ancak normal şartlarda, kaliteye dair hususlar nedeniyle dış kırık kullanılmaz.

Cam ev eşyaları sektöründe çeşitli arındırıcı ve oksitleyici maddeler kullanılır: nitratlar, sülfatlar ve bazı özel durumlarda arsenik ve antimon bileşikleriyle (tipik olarak harmanın %0,1 - 1 kadar As ve %0,1 - 0,4'ü kadar Sb) seryum bileşikleri (harmanın %0,2 - 0,5'i). Selenyum da harman bileşiminin % 0.005'inden az oranda, renk giderici olarak kullanılır. Kurşun kristal üretiminde genellikle camın kesildikten sonra parlatılması gerekir.

Bunu yapmanın en yaygın yolu, camı güçlü bir hidroflorik ve sülfürik asit karışımına daldırmak ve ardından suyla durulamaktır. Bazı ürünler, cam ambalaj sektörü için 3.3'te açıklananlara benzer yüzey işlemlerine tabi tutulur.

Kullanılan yakıtlar prosesler arasında farklılık gösterecektir, ancak cam ergitme için genel olarak fuel oil, doğal gaz ve elektrik, ayrı ayrı veya birlikte kullanılır. Ön hazneler ve tavlama tünelleri, ısıtma ve genel hizmetler için de kullanılan gaz veya elektrikle ısıtılır. Hafif fuel oil, propan ve bütan bazen yedek yakıtlar olarak ve yüzey bitim işlemlerinde kullanılır (ayrıca asetilen de). Oksijen ayrıca fırın veya ilave işlemler için de kullanılır.

Genel olarak cam ev eşyaları sektöründe suyun başlıca kullanım alanları devrelerin soğutulması ve temizliktir. Soğutma suyu, genellikle kapalı veya açık devrelerde, çeşitli ekipmanları buharlaşma ve temizlemeden kaynaklanan kayıplarla soğutmak için kullanılır. Su ayrıca prosesin bazı ilave aşamalarında (kesme, parlatma, yıkama vb.) ve yaş yıkama sistemlerinde kullanılır. Dolayısıyla, fiili su tüketimi yerel koşullara göre değişebilir (örn. ortam sıcaklığı ve su girdisinin sertliği).

3.6.2 Hava emisyonları

[28, Evsel 1998]

3.6.2.1 Hammaddeler

Modern cam ev eşyaları üretim proseslerinin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm^3 'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, transfer sayısına ve işlenen malzeme miktarına bağlı olacaktır. Bununla birlikte, bu sektörün özelliklerinden biri, bazı harman tesislerinin nispeten küçük olması ve bazı ürünlerin özel nitelikleri ve daha düşük hacimlerde üretilmesi nedeniyle, taşıma ve transferin daha büyük bölümünün manuel (ve yarı manuel) gerçekleştirilmesidir. Bu faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar, sistemlerin ne kadar iyi kontrol edildiğine bağlı olacaktır; bu hususlar 4. Bölümde daha ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Doğal olarak, toksik bileşikler (örn. kurşun oksit, arsenik, vb.) içermesi olası olan malzemelerle yapılan işlemlerde, bu maddelerin emisyon potansiyeli mevcuttur. Emisyonları önlemek için genellikle özel kontroller kullanılır (örn. tozun çekilmesi ve pnömatik taşıma) ve bunun sonucunda elde edilen emisyon seviyeleri genellikle çok düşüktür.

3.6.2.2 Ergitme

[28, Evsel 1998] [68, Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 2007]

Cam ev eşyaları sektöründe; en büyük çevresel emisyon potansiyeli, ergitme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarında mevcuttur. Salınan başlıca maddeler ve ilgili kaynakları 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Bu sektörde geniş bir ürün yelpazesi vardır ve 2. Bölümde açıklanan ergitme tekniklerinin çoğu kullanılır. Üretim süreci için kullanılan enerji doğal gaz, petrol veya elektrik olabilir. Havaya salınan emisyonların aralığına ilişkin bir özet, aşağıdaki Tablo 3.31'de verilmiştir. Bu veriler yalnızca soda-kireç, kristal ve kurşunlu kristal fırınlarından kaynaklanan emisyonlar içindir. Mevcut verinin sınırlı olması nedeniyle, evsel kullanım (pişirme gereçleri) için borosilikat camdan kaynaklanan emisyonlar rapor edilememiştir. Raporlanan veriler, Avrupa cam ev eşyası üreticileri birliği üyeleriyle yapılan bir çalışmanın sonucudur ve AB-25'i ilgilendirmektedir. Verilerin istatistiksel analizlerinden çıkarılan sonuçlar, MET-Ref'in ilk versiyonunun hazırlanması için AB-15 üyeleri arasında gerçekleştirilen önceki çalışmadan önemli farklılıklar gösteriyor olabilir. Birlikte değerlendirildiklerinde, bu değerlerin sektör yelpazesinin tamamını temsil ettiği düşünülmektedir; zira diğer cam türlerinden kaynaklanan emisyonlar verilen örneklerin arasında kalır.

Tablo 3.31: Cam Ev Eşyaları fırınlarından havaya salınan emisyonların özeti

Madde	Soda-kireç-silika cam ⁽¹⁾		Kristal ve kurşun kristal	
	mg/Nm ³ (ortalama değer)	kg/ton erimiş cam (ortalama değer)	mg/Nm ³ ⁽¹⁾ (ortalama değer)	kg/ton erimiş cam (ortalama değer)
Azot oksitler (NO ₂ olarak) ⁽²⁾	300 - 2100 ⁽²⁾ (1100)	0,2 - 6 (2,5)	300 - 2300 (840)	0,2 - 11 (2,7)
Kükürt oksitler (SO ₂ olarak)	80 - 310 (180)	0,1 - 1,0 (0,5)	60 - 130 (80)	0,1 - 0,3 (0,2)
Partikül madde	0,5 - 220 (90)	0,001 - 0,3 (0,2)	0,1 - 13 (4)	0,001 - 0,3 (0,03)
Florürler (HF)	0,2 - 5 (2)		0,1 - 10 (2)	<0,003
Klorürler (HCl)	0,1 - 20 (10)		0,2 - 2 (1)	<0,004
Metaller (kurşun dahil)	<5		0,05 - 0,5 (0,2)	<0,01
⁽¹⁾ Bu veriler konvansiyonel fırınlar içindir (elektrikli fırınları kapsamaz). ⁽²⁾ ⁽²⁾ Bazı yüksek sonuçlar, harmanda nitratların kullanılmasıyla veya diğer özel koşullarla ilgilidir (örneğin çok düşük ergitme hızı). Kavnak: I68. Cam Ev Eşyaları Veri güncellemesi 20071				

Belirli bir fırın için emisyon seviyeleri, harman bileşimi, kullanılan azaltma teknikleri ve fırının yaşı gibi birçok faktöre bağlı olabilir. Florür, kurşun ve diğer metallerin emisyonları, harmanda bu maddeleri içeren bileşiklerin kullanımı ile doğrudan ilgilidir. Genel olarak, ağır metaller partikül madde olarak salınır ve yüksek metal içeriğine sahip cam ürünlerle (örneğin kurşun kristal cam) veya daha nadiren ağır metaller içeren cam kırıklarının kullanımıyla ilişkilidirler. Florür bazı durumlarda cam bileşiminde gerekli olması nedeniyle eklenirken, bazı durumlarda belirli hammaddelerdeki safsızlık olarak mevcuttur. Malzemenin bir kısmı cama dâhil edilecek, ancak bir kısmı da kaçınılmaz olarak havaya salınacaktır. Flor genellikle HF olarak salınır, metaller ise duman halinde salınabilir veya daha yaygın olarak partikül madde içinde bulunabilir.

3.6.2.3 İlave işlemler

Soda-kireç ürünlerine yüzey işlemleri uygulanabilir. Bu işlemler ve emisyonlar, 3.3.2.3'te cam ambalaj için açıklananlara benzerdir. Birçok ürün için ateşte bitirme uygulanır; fakat bu işlem alevli yanma ürünleri dışında emisyonlara yol açmaz. Kurşunlu kristal ürünlerin asitle parlatılması, asit dumanlarının (HF ve SiF₄) emisyonuna yol açabilir; bunlar genellikle suyun veya bir alkali solüsyonunun (örn. sodyum hidroksit) sirküle edildiği yıkama kulelerinde artırılır.

Asit banyosundan çıkan dumanlar su içinde reaksiyona girerek derişimi % 35'e kadar varabilen heksafluorosilik asit (H₂SiF₆) verir. Bu suyun asitliği boşaltımdan önce giderilmelidir; veya bazı durumlarda kimya endüstrisinde kullanılmak üzere geri kazanılabilir.

Asit dumanlarını işlemek için kullanılan temizleme sisteminden sonra yapılan gaz emisyonu ölçümleri, 5 mg/Nm³ HF altında derişim değerleri gösterir.

Sektöre uygulanan arıtma sistemlerinin teknik yönleri 4.5.4'te daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Zımparalama ve kesme faaliyetleri toz emisyonlarına neden olabilir. Bu emisyonlar genellikle kesimi sıvı ortamda yaparak veya yerel havayı tahliye ederek kontrol edilir.

3.6.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Cam ev eşyası sektörüne özgü difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları, fırının harman atma ağzı alanı, forehearth, şekillendirme alanı ve ateşte bitirme işlemleriyle ilişkilidir.

Harman besleme alanından (harman besleme ağzı) kaynaklanan emisyonlar, harman bileşiminin (toz emisyonları) ve fırından çıkan yanma gazlarının taşınmasıyla ilgilidir.

Örneğin kurşun kristal cam veya opal cam üretimi için elektrikli fırınlar kullanıldığında, harman atma ağzı alanı genellikle emisyonları bir torba filtreye veya daha az yaygın olarak yağ yıkama sistemine iletmek üzere bir çıkartım sistemi ile donatılır.

Yanma gazları ve buharlaşma ürünleri forehearthndan salınabilir. Besleyicide camın renklendirilmesi yapılırken, ağır metallerin varlığı nedeniyle forehearthndan yayılan emisyonlar önemli olabilir.

Şekillendirme alanında, mineral yağ ve diğer yağlama ürünlerinden kaynaklanan buğular oluşabilir. Kalıpların ısıtılmasından ve tavlama tüneline yanma gazları ortaya çıkabilir.

Ateşte bitirme işlemleri oldukça yaygındır ve üretilen yanma gazlarının ortam atmosferine salınması olağandır.

Bütün bu özel konular normalde iş yerinde sağlık ve güvenlik yönetmeliklerine göre ele alınır ve önemli hava emisyonlarına yol açmazlar. Bazı özel durumlarda, işyerinde ağır metallerle maruz kalma seviyelerini sınırlamak için forehearthndan yayılan emisyonların dışarı atılması ve arıtılması gerekli olabilir.

3.6.3 Suyu deşarjlar

[28, Evsel 1998] [101, Bruno D. METwater 2007]

Sanayiinin diğer sektörlerinde olduğu gibi, suyun temel kullanımı soğutma ve temizleme amaçlıdır ve sulu emisyonlar, soğutma suyu sisteminden atık sular, temizleme suları ve akan yüzey suları ile sınırlıdır. Temizleme suları genellikle herhangi bir endüstriyel tesiste karşılaşılanların dışında bir sorun teşkil etmez; eylemsiz katılar ve potansiyel olarak petrol içerebilir. Soğutma sisteminden atılan sularda, çözünmüş tuzlar ve su arıtma kimyasalları bulunur. Yüzey suyu kalitesi, drenajın ayrılma derecesine ve saha temizliğine bağlı olacaktır.

Bununla birlikte, belirli ürünlerin, özellikle kurşun içeren camların üretimi, kurşun veya başka bileşikler içerebilen diğer doğrudan emisyonlara yol açabilir.

Başlıca potansiyel bulaşık atık su kaynakları; harman malzemesinin dökülmüş olabileceği alanların temizliğinde kullanılan (kurşun, arsenik, antimon vb. içerebilir) ve ürünlerin kesilmesi ile zımparalanmasında kullanılan suyu içerir. Çoğu proseste, yerel gerekliliklere uyum sağlamak için çöktürme, ayırma ve flokülasyon gibi katı giderme teknikleri kullanılır.

Asitli parlatma aynı zamanda suya deşarjlara da neden olur. Aside daldırıldıktan sonra camın yüzeyinde bir kurşun sülfat ve hekzaflorosilikat tabakası oluşur. Bu, sıcak suyla yıkanarak asidik hale getirilir ve kurşun sülfat içerir. Bu suyun asidini gidermek için kullanılan kimyasallara bağlı olarak, kurşun sülfat daha fazla reaksiyona girerek (örneğin Ca(OH)_2 ile CaSO_4 oluşturmak üzere) kurşunun şeklini değiştirebilir (çökelek).

Parlatma işlemi aynı zamanda, camın küçük bir kısmının asit banyosundan bir tuz karışımı olarak kısmen ayrılarak, 'dağlama çamuru' oluşturacak şekilde çözünmesine de neden olur. Bu çamur, kurşun sülfat elde etmek için süzülerek ve yıkanarak veya kurşun karbonat elde etmek için kalsiyum veya sodyum karbonat ile reaksiyona sokularak işlenir. Her iki ürün de hammadde olarak yeniden kullanılabilir (harmana yeniden eklenebilir) veya diğer proseslerde geri kazanılabilir. Ancak genellikle, teknik nedenlerden dolayı (harman karıştırma cihazlarının ve fırın refrakter malzemelerinin hasar görme riski), ortaya çıkan çamur özel depolama sahalarında biriktirilir. Dağlama çamurunun işlenmesinden elde edilen sıvı fraksiyonu, parlatma banyosunda yeniden kullanılan asidik bir çözelti verir. Boşaltma noktasında ölçülen tipik derişim değerleri aşağıdaki Tablo 3.32'de sunulmaktadır.

Tablo 3.32: Arıtmadan sonra deşarj noktasında suda ölçülen tipik derişimler

Parametre	Ölçülen değer (mg/l)
Toplam askıda katı madde	≤50
Pb	<0,05
Sb	<0,1
F	<6
SO ₄ ²⁻	<1000
Hidrokarbonlar	<1
Kaynak: [84, İtalya Raporu 2007] [110, Avusturya, Cam ev eşyası tesisleri 2007]	

3.6.4 Diğer atıklar

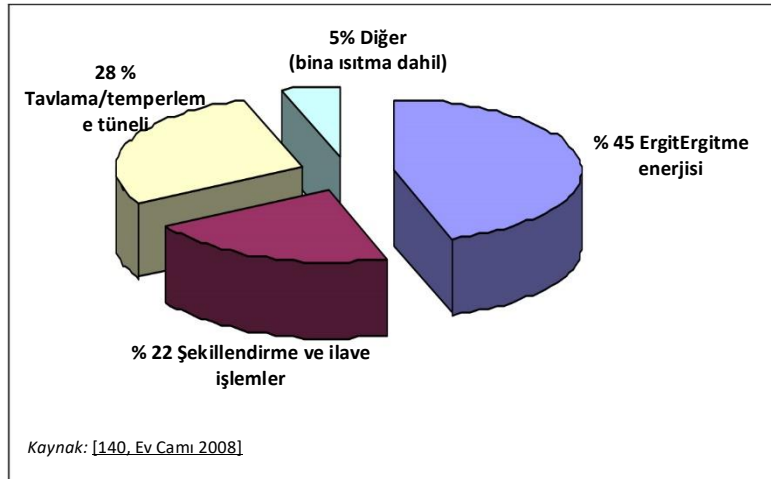
Çoğu cam hurdası (kırık) fırına geri dönüştürülür ve atık seviyeleri genellikle oldukça düşüktür. Ambalajlama ve fırın onarımlarından kaynaklanan genel atıklar diğer sektörler ile benzerdir. Toz kontrol sistemlerinden ve kuru yıkamadan çıkan atıklar genellikle fırına geri dönüştürülür. Kurşunlu kristal üretiminde, atık su sisteminden ayrılan çamurlar yeniden kullanılamayacakları takdirde bertaraf edilmelidir. Çamur oluşumu yukarıdaki 3.6.3 kısmında ele alınmış ve değerler Tablo 3.29'te verilmiştir.

3.6.5 Enerji

[15, ETSU 1992]

Bu sektördeki enerji tüketiminin değerlendirilmesi, çeşitlilik ve kullanılan farklı ergitme teknikleri nedeniyle oldukça zordur. Soda-kireç sofra gereçlerinin yüksek hacimli üretiminin cam ambalaj üretimiyle pek çok ortak yönü vardır (bkz. 3.3.5) ve gösterdikleri enerji kullanımı dağılımı benzerdir. Bununla birlikte, ilave işlemlerle (örn. ateşle parlatma ve bitirme) ilişkili daha yüksek bir enerji kullanımı oranı söz konusudur. Bu sektörde ergitme için özgül enerji tüketimi cam ambalaja kıyasla daha yüksektir. Bunun nedeni, fırınların genellikle daha küçük olması, erime sıcaklıklarının biraz daha yüksek olması ve fırında kalma süresinin % 50'ye kadar daha uzun olmasıdır.

Enerji değerleri normalde yalnızca birincil işleme atıfta bulunur ve işleme, kesme, cilalama, kaynaklama vb. gibi sonraki faaliyetleri içermez. Bu ilave işlemler için tipik enerji değerleri, ton üretilen cam başına 5 ila 10 GJ'e ulaşabilir. Tipik bir soda-kireç-silika cam sofra takımı üretimi için enerji kullanım dağılımı Şekil 3.8'de gösterilmektedir ve özgül enerji tüketimi örnekleri Bölüm 3.2.3 Tablo 3.8'de sunulmaktadır. Elektrikli ergitme uygulandığında, ergitme için tipik enerji tüketimi, 3,4 GJ/t kadar düşük değerlere varabilmekle birlikte ton cam başına 4 ila 7 GJ aralığındadır. Konvansiyonel fırınlar için ergitmeye yönelik enerji tüketimi genel olarak ton erimiş cam başına 4,8 ila 10 GJ aralığındadır. Nispeten küçük hacimlerde yüksek kaliteli sofra gereçlerinin üretimi için enerji gereksinimleri daha yüksektir (ambalaj sektöründeki flakon-şişe karşılaştırması gibi düşünülebilir).



Şekil 3.8: Soda-kireç-silika cam sofraya gereci üretiminde enerji kullanımı

Başta kurşunlu kristal üretimi olmak üzere sektördeki diğer bazı işlemler çok daha küçük ölçekte gerçekleştirilmekte ve pota ocağı kullanılabilir. Kurşun kristal cam üretimi için enerji kullanım dağılımı, bir tesisten diğerine önemli ölçüde farklılık gösterir, ergitme süreci için gerekli enerji, enerji tüketiminin %16'sından %85'ine kadar varmaktadır.

Ergitme için hesaplanan teorik enerji gereksinimi yalnızca 2,5 GJ/ton olmasına rağmen, kurşun kristal üretimi için toplam enerji tüketimi ton bitmiş ürün başına 28 GJ'e kadar çıkabilir. Aradaki fark birçok faktörden kaynaklanıyor olabilir, ancak bunlardan en önemlileri şunlardır:

- Yüksek kalite gereksinimleri, yüksek iskarta seviyelerine yol açabilir. Cam, potayı yavaş yavaş çözerek üründe tel ve taş oluşmasına neden olur.
- Sıklıkla elle işlenen camın şekillendirme verimi %50'nin altında olabilir ve nesnelerin şekillendirme sırasında yeniden ısıtılması gerekebilir.
- Potalar, kullanılmadan önce 'dökülmeli' veya ateşlenerek yüksek sıcaklığa getirilmelidir; sürekli fırınlara kıyasla çok sınırlı bir kullanım ömrüne sahiptirler.

Kurşunlu kristalin elektrikle ergitilmesi, çok daha yüksek cam kalitesi, buna bağlı olarak daha düşük iskarta oranı ve daha iyi verim sağlayan yüksek kaliteli refrakterlerin kullanımını mümkün kılar. Elektrikli ergitme süreci sürekli olması ve yanmadan kaynaklanan sıcak baca gazlarının olmaması, genellikle daha verimli bir otomatik şekillendirmeyi beraberinde getirir. Ancak, ilave işlemler de dâhil olmak üzere toplam enerji talebi, ton ürün başına 25 GJ rakamına yakın enerji tüketimine yol açabilir.

3.7 Özel cam

Özel cam sektörü, geniş ürün çeşitliliğine, cam formülasyonlarına ve proses tekniklerine sahiptir. Çoğu tesis, diğer fırınlarla ilişkilendirilmediği, 2008/1/AK sayılı Direktifte belirtilen 20 ton/gün kriterini karşılamaz. Bu nedenle, bütün sektörün emisyonlarının tam aralığının çıkarılması uygulanabilir ve hatta gerekli değildir. Sektör kapasitesinin %53'ünden fazlasını ampul ve tüpler, yaklaşık %9'unu ise cam seramik oluşturmaktadır. Bu kısım, mümkün olduğu ölçüde tüm sektörü kapsamaya çalışmaktadır; ancak nicel bilgiler yalnızca cam seramiği, borosilikat cam tüpler ve ampullere yönelik soda-kireç camı üretimi için sağlanmıştır.

Su camı üretimi artık Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar – Katılar ve Diğerlerine İlişkin Sanayi (LVIC-S) MET-Ref [138, AK 2007] kapsamında olduğundan dolayı, bu özel ürün bu kısma dâhil edilmeyecektir.

3.7.1 Proses girdileri

[26, Özel 1998]

Özel camın kimyasal bileşimi, cam türüne ve nihai kullanıma bağlı olarak değişir ve genellikle içerdiği elementlerin oksitleri cinsinden ifade edilir. Böylesine çeşitli bir sektör için ‘tipik’ harman bileşimlerini belirlemek zordur. Temel hammaddeler ergitergitmenin ardından istenen son cam bileşimlerini verecek şekilde seçilir ve harmanlanır. Tipik cam türleri ve bileşim aralıkları 2.8’de gösterilmektedir. Tablo 3.33, bu bileşimleri elde etmek için kullanılan ana hammaddeleri göstermektedir.

Cam seramik, borosilikat cam tüpler ve soda-kireç cam ampullerin girdileri için daha ayrıntılı bilgi, dört spesifik örnek prosese ilişkin verilerin raporlandığı Tablo 3.34’te verilmiştir.

Tablo 3.33: Özel cam sektöründe kullanılan malzemeler

Açıklama	Malzemeler
Cam yapıcı malzemeler	Silika kumu ve yüksek saflıkta kuvars kumu, proses kırıntısı
Cam ara ve değiştirici malzemeleri	Sodyum karbonat, potasyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, alümina, alüminyum hidroksit, zirkonyum oksit, boraks, borik asit (bazı uygulamalar için saf), karbon, kurşun oksit, titanyum oksit, kalay oksit, stronsiyum karbonat, lityum karbonat, baryum karbonat, spodümen, flüspat, nefelin siyenit, feldspatlar, sodyum klorür, fosfatlar
Cam oksitleyiciler ve arıtıcı maddeler	Sodyum sülfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat, arsenik (As_2O_3), antimon (Sb_2O_3), karbon
Cam renklendirici maddeler	Demir kromit, demir oksit, kobalt oksit, selenyum veya çinko selenit, seryum
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, bütan, propan, asetilen
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kağıt, karton ve ahşap gibi paketleme malzemeleri Kalıp yağlayıcılar, genellikle yüksek sıcaklıkta grafit bazlı ayırıcı maddeler Makine yağları, ağırlıklı olarak mineral yağlar Azot, oksijen, hidrojen ve kükürt dioksit gibi proses gazları Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.

Tablo 3.34: Girdi ve çıktılara genel bakış, örn. cam seramik, borosilikat cam tüpler ve soda-kireç cam ampul prosesleri

		Cam Seramik	Cam tüpler (borosilikat)		Cam lamba ampulleri (soda-kireç)
Fırın tipi		Oksi-yakıt	Oksi-yakıt	Yandan ateşlemeli rejeneratif	Yandan ateşlemeli rejeneratif
Fırın kapasitesi		30 - 65 ton/gün	10 - 55 ton/gün	10 - 55 ton/gün	50 - 150 ton/gün
Girdiler	Birim/ton erimiş cam				
Enerji, gaz	GJ	5,5 - 11	10 - 15	14 - 17	5 - 14
Enerji, elektrik	GJ	1 - 8			
SiO ₂ (hesaplanmış)	kg	660 - 685	740 - 760	740 - 760	400 - 700
Al (OH) ₃ (hesaplanmış)	kg	310 - 340	22 - 26	22 - 26	
CaO, CaCO ₃	kg		18 - 22	18 - 22	100 - 400
K ₂ O, K ₂ CO ₃	kg				20 - 100
Na ₂ CO ₃ , Na ₂ O	kg		22 - 28	22 - 28	100 - 300
CaF ₂	kg		3 - 7	3 - 7	
TiO ₂	kg	12 - 45			
Li ₂ CO ₃ (hesaplanmış)	kg	85 - 110			
B ₂ O ₃	kg		220 - 240	220 - 240	10 - 100
NaNO ₃ , KNO ₃	kg	9,5 - 15	20 - 25	20 - 25	50 - 250
ZrO ₂	kg	12 - 45			
ZnO	kg	12 - 45			
Az miktarda mineral içerikler	kg	3,5 - 10	1 - 2	1 - 2	0,5 - 20
Tesis içi cam kırığı	kg	250 - 550	200 - 400	150 - 350	100 - 500
Su	m ³	1,5 - 2,5	1,7 - 2,8	1,7 - 2,8	Kapalı su devresi
Çıktılar					
<i>Hava emisyonları</i>					
Atık gaz azaltma sistemi		Torbalı filtre	Torbalı filtre/ESP	Torbalı filtre/ESP	ESP
CO ₂	kg	410 - 500	900 - 1150	950 - 1300	400 - 600
NO _x (NO ₂ olarak)	kg	3,6 - 6,5	5 - 8	7 - 12	0,1 - 6
SO _x (SO ₂ olarak)	kg		0,02 - 0,07	0,02 - 0,07	0,01 - 0,05
HCl	kg		0,02 - 0,08	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08
HF	kg		0,002 - 0,004	0,002 - 0,004	
Toz	kg	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08
Ağır metaller	kg	0,003 - 0,02	0,001 - 0,02	0,001 - 0,02	
Atık su	m ³	0,8 - 1,5	1 - 1,6	1 - 1,6	kapalı su devresi

Kaynak: [141, Özel cam 2008]

3.7.2 Hava emisyonları

3.7.2.1 Hammaddeler

Özel cam proseslerinin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm³'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, doğal olarak transfer sayısına ve işlenen malzeme miktarına bağlı olacaktır. Bununla birlikte, bu sektörün özelliklerinden biri, bazı harman tesislerinin nispeten küçük olması ve bazı ürünlerin özel nitelikleri ve daha düşük hacimlerde üretilmesi nedeniyle, taşıma ve transferin daha büyük bölümünün manuel (ve yarı manuel) gerçekleştirilmesidir. Bu faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar, sistemlerin ne kadar iyi kontrol edildiğine bağlı olacaktır. Doğal olarak, toksik bileşikler (örn. kurşun oksit, arsenik, vb.) içerme olasılığı olan malzemelerin taşındığı yerlerde, bu maddelerin emisyon potansiyeli mevcuttur.

3.7.2.2 ErgitErgitme

Özel cam sektöründe; en büyük çevresel emisyon potansiyeli, ergitergitme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarında mevcuttur. Salınan başlıca maddeler ve ilgili kaynakları 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Özel cam sektörünün geniş ürün yelpazesi ve ürünlerin özelleşmiş nitelikleri, diğer birçok sektörde karşılaşılandan daha geniş bir hammadde çeşitliliğinin kullanılmasına yol açmıştır. Örneğin: CRT hunileri ve bazı optik camlar, %20'nin üzerinde ve %70'e varan kurşun içeriğine sahiptir; belirli cam bileşimlerinde arsenik ve antimon oksitler gibi özel rafinasyon maddeleri kullanılabilir; ve bazı optik camlar %35'e kadar florür ve %10'a kadar arsenik oksit içerebilir. Florür, kurşun, arsenik ve diğer metallerin emisyonları, harmanda bu maddeleri içeren bileşiklerin kullanımı ile doğrudan ilgilidir.

Sektörün çeşitliliği nedeniyle 2. Bölümde açıklanan ergitergitme tekniklerinin çoğuyla karşılaşılabılır. Bununla birlikte, düşük üretim hacimleri, çoğu fırının oldukça küçük olduğu anlamına gelir ve en yaygın teknikler reküperatif fırınlar, oksi-gazlı fırınlar, elektrikli ergiticiler ve günlük tankların kullanımını içerir. Rejeneratif fırınlar da kullanılır; örneğin önceden CRT cam üretimi için kullanılmış olup, şimdi daha nadiren borosilikat cam tüplerin veya diğer cam türlerinin (örn. soda-kireç silika cam ampuller) üretiminde kullanılmaktadır. Özel camların erime sıcaklıkları, daha alışıldık seri üretim bileşimlerine kıyasla daha yüksek olabilir. Özellikle CRT'ler, borosilikat cam ve cam seramikler 1650 °C'nin üzerinde ergitergitme sıcaklıkları gerektirir.

Bu yüksek sıcaklıklar ve karmaşık formülasyonlar, soda-kireç gibi ürünlere kıyasla, ton başına daha yüksek emisyonlara yol açabilir. Daha yüksek sıcaklıklar, daha yüksek buharlaşma hızlarını ve NO_x oluşumunu desteklerken, nitratlı oksidasyon maddelerinin ve sülfatlı arıtma maddelerinin artan kullanımı NO_x, SO₂ ve metal emisyonlarında artışa neden olabilir. Daha düşük üretim ölçeğinin, daha yüksek sıcaklıklarla bir araya gelmesi, bu sektörde enerji verimliliğinin genellikle daha düşük olduğu anlamına gelir.

Belirli bir fırın için emisyon seviyeleri, başta harman bileşimi, fırın tipi, kullanılan azaltma teknikleri ve fırının yaşı ile çalıştırılma şekli gibi birçok faktöre bağlı olabilir. Ergitilmiş cam ürününün kg/ton cinsinden ifade edilen emisyon seviyeleri, dört farklı örnek proses için Tablo 3.34'te verilmiştir.

3.7.2.3 İlave işlemler

Fırın ilave işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar duruma özeldir ve her tesis için ayrı olarak dikkate alınmalıdır. Ancak bazı genel hususlar mevcuttur.

Kesme, zımparalama ve parlatma gerektiren çeşitli ürün türleri toz emisyonlarına yol açabilir ve bazı ürünlerle ilişkili (örn. optik cam ve CRT hunileri ve paneller) emisyonlarda kurşun bulunabilir. Bu işlemler genellikle sıvı ortamda gerçekleştirilir veya hava ekstraksiyonu ve toz filtreleme kullanılır. Bu nedenle emisyon seviyeleri genellikle çok düşüktür.

3.7.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Özel cam sektörüne özgü difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları, üretilen cam nesnenin türüne göre değişebilir. Genellikle fırının harman atma ağız alanı, forehearth, şekillendirme alanı ve yangın bitirme işlemleri ile ilgilidir.

Harman verme alanından (harman atma ağız) kaynaklanan emisyonlar, harman bileşiminin (toz emisyonları) ve fırından çıkan yanma gazlarının taşınmasıyla ilişkili olup ambalaj ve cam ev eşyası sektörleriyle ortaktır.

Sürekli fırınların, harman formülasyonları potansiyel olarak zararlı hammaddeler (örn. As, Sb, Pb, F bileşikleri) içeren camların üretiminde kullanıldığı durumlarda, pota fırınının veya günlük tankın harman verme alanının üzerinde, yayılan atık gazları bir arıtma sistemine yönlendiren bir dışa atım sistemi mevcut olabilir.

Yanma gazları ve buharlaşma ürünleri forehearthndan salınabilir.

Şekillendirme alanında, mineral yağ ve diğer yağlama ürünlerinden kaynaklanan buğular oluşabilir. Kalıpların ısıtılmasından ve tavlama tüneline yanma gazları ortaya çıkabilir.

Ateşte bitirme işlemleri normalde ortam atmosferine salınan yanma gazları üretir.

Özel cam kurulumlarında, NO_x giderimi için SCR ve SNCR teknikleri kullanıldığında, amonyak kullanımının kontrolüyle beraber, herhangi bir sızıntı, dökülme veya kaçak emisyonlardan kaçınmaya yönelik tedbirler alınması olağandır.

Genel olarak, bu kaynaklar havaya önemli emisyonlara neden olmaz ve çoğu husus sağlık ve güvenlik yönetmeliklerine göre ele alınır.

3.7.3 Suya deşarjlar

Sanayiinin diğer sektörlerinde olduğu gibi, başlıca su kullanımları soğutma ve temizleme amaçlıdır ve sulu emisyonlar, soğutma suyu sisteminden atık sular, temizleme suları ve akan yüzey sularından oluşacaktır. Genel olarak, temizleme suları herhangi bir endüstriyel tesiste karşılaşılanların dışında bir sorun teşkil etmez; eylemsiz katılar ve potansiyel olarak petrol içerebilir. Soğutma sisteminden atılan sularda, çözünmüş tuzlar ve su arıtma kimyasalları bulunur. Yüzey suyu kalitesi, drenajın ayrılma derecesine ve saha temizliğine bağlı olacaktır.

Bununla birlikte, sektörün çeşitliliği, tüm potansiyel emisyonların tanımlanmasının imkansızlığını ve her durumun özel olarak değerlendirilmesi gerekliliğini beraberinde getirir. Her ürün için kullanılan hammaddeler ve gerçekleştirilen işlemler dikkate alınmalıdır. Tesis içinde kullanılan zararlı olabilecek hammaddeler, özellikle malzemelerin işlendiği ve ürünlerin kesildiği veya zımparalandığı yerlerde atık su akışlarına girme potansiyeline sahip olacaktır. Örneğin, CRT hunileri ve bazı optik camlar gibi eşyaların zımparalanması ve parlatılması, zımparalama ve parlatma yardımcılarını ve kurşun içerikli ince camı içeren sulu bir akım oluşturabilir. Genel olarak, katı maddeler uzaklaştırılacak ve sıvı mümkün olduğu ölçüde geri dönüştürülecektir; fakat bir düzeye kadar boşaltımla birlikte dökülme riski olacaktır. Özgül su tüketimi ve ton erimiş cam başına boşaltım ile ilgili bazı nicel veriler, dört örnek proses için yukarıdaki Tablo 3.34'te verilmektedir.

3.7.4 Diğer atıklar

Genel olarak, tesis içinde üretilen cam hurdasının (kırık) büyük bölümü fırına geri dönüştürülür ve atık seviyeleri genellikle oldukça düşüktür. Ambalajlama ve fırın onarımlarından kaynaklanan genel atıklar diğer sektörler ile aynıdır. Toz kontrol sistemlerinden ve kuru yıkamadan çıkan atıklar mümkün olduğu durumlarda fırına geri dönüştürülür. Zımparalama ve kesme işlemlerini içeren proseslerdeki su devrelerinden ayrılan çamurlar, geri dönüştürülemiyor veya yeniden kullanılamıyor ise bertaraf edilmelidir. ErgitErgitme işlemine geri dönen iç cam kırıklarının kullanımına ilişkin bazı nicel veriler, dört örnek proses için yukarıdaki Tablo 3.34'te verilmektedir.

3.7.5 Enerji

Böylesine çeşitli bir sektör için enerji tüketimi hakkında genel bilgi vermek oldukça zordur. Tablo 3.34'te ergitme fırınları için özgül enerji tüketim verileri, üç farklı tür ürün için, ürün türüne, fırın boyutuna ve ergitme tekniğine bağlı olarak, ton ergitilen cam başına 5 GJ ile 17 GJ aralığında gözlemlenmiştir. Harman formülasyonuna, ergitme tekniğine ve tesisin nasıl tasarlanıp işletildiğine bağlı olarak çok çeşitli enerji tüketimi verileri gözlemlenebilir. Ton bitmiş ürün başına 12 – 16 GJ özellikle soda-kireç silika camlar için gözlenmiştir. [tm29 Infomil][30, Infomil 1998]. [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [111, Avusturya Özel cam tesisi 2006].

3.2.3 kısmında verilen genel açıklama bu sektör için geçerlidir ve enerji verimli teknikler 4. Bölümde ele alınıp daha ayrıntılı bilgi sağlanmıştır. Özel cama özgü hususlar; özel camlar için erime sıcaklıklarının genellikle seri üretilen camlara göre daha yüksek olması ve özel cam fırınlarının genel olarak cam sanayinin diğer sektörlerinde kullanılanlara kıyasla daha küçük olmasıdır. Bu faktörlerin her ikisi de daha yüksek CO2 emisyonlarına ve daha yüksek özgül enerji tüketimine neden olur.

3.8 Mineral yün

Bu bölümde sunulan bilgiler tüm tesis boyutları ve operasyonları ile ilgilidir, ancak başlatma ve kapatma gibi özel modları içermez. En düşük emisyon değerlerinden bazıları bir tesise ait olup, tesise özgü nedenlerden kaynaklanmaktadır. Sonuçlar, sektör için kesin MET göstergeleri değildir.

En büyük çıktı kütle akışı, taş yünü prosesleri için malzeme girdisinin % 55 ila 85'inden ve cam yünü prosesleri için % 75 ila 95'inden meydana gelen üründür. Burada önemli bir faktör, hammadde kullanım verimliliğini önemli ölçüde artıran proses artıklarının geri dönüşümüdür. Kayıplar katı atıklar, sulu atıklar ve havaya salınan emisyonlardan kaynaklanmaktadır.

3.8.1 Proses girdileri

Mineral yünün kimyasal bileşimi büyük ölçüde değişebilir ve alışlageldik olarak içerdiği elementlerin oksitleri cinsinden ifade edilir. Cam yünü, taş yünü veya cüruf yünü gibi temel mineral yün türlerinden herhangi biri için 'tipik' bir harman bileşiminin tanımlanması zordur. Temel hammaddeler ergitme prosesinin ardından istenen son cam bileşimlerini verecek şekilde seçilir ve harmanlanır. Harmandaki hammaddelerin her birinin yüzdesi, özellikle yüksek miktarda geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanıldığı durumlarda önemli ölçüde değişebilir.

Cam yünü, taş yünü ve cüruf yünü için karakteristik bileşim aralıkları Tablo 2.9'da gösterilmektedir. Bu bileşimlerin elde edilmesinde kullanılabilecek hammaddeler Tablo 3.35'te gösterilmektedir. Cam yünündeki ana oksitler, silikon dioksit, bor trioksit, alkali metallerin oksitleri (ağırlıklı olarak sodyum ve potasyum) ve toprak alkali metallerin oksitleridir (ağırlıklı olarak kalsiyum ve magnezyum). En önemli silikon dioksit kaynakları kum ve atık cam malzemeler, yani kırık ve lifli atıklardır. En önemli alkali ve toprak alkali metal oksit kaynakları soda külü, potas, kireçtaşı ve dolomittir. Geri dönüştürülmüş camın (tüketim sonrası soda-kireç-silika düz cam ve cam ambalaj veya düz cam üretiminden kaynaklanan düz cam atıkları), cam yünü üretiminde hammadde olarak kullanımı yaygındır.

Tablo 3.35: Mineral yün sektöründe kullanılan malzemeler

Açıklama	Malzemeler
Cam yünü	Silika kumu, proses cam kırıkları, dışarıdan gelen kırıntılar, proses atıkları, nefelin siyenit, sodyum karbonat, potasyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, sodyum sülfat, boraks, kolemanit, ulexite
Taş/cüruf yünü	Bazalt, kireçtaşı, dolomit, yüksek fırın cürufu, silis kumları, sodyum sülfat, proses atıkları, bazen diğer proseslerden kaynaklanan atıklar, örn. döküm kumu.
Bağlayıcı malzemeler	Fenol formaldehit reçine (çözelti halinde), fenol, formaldehit ve reçinenin tesiste üretilmesi halinde reçine katalizörü, amonyak, üre, mineral yağ, silikon, silan, su
Yakıtlar	Doğal gaz, elektrik, kok (yalnızca taş/cüruf yünü), yedek yakıtlar (hafif fuel oil, propan, butan).
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kağıt, karton ve ahşap gibi paketleme malzemeleri. Makine yağları, ağırlıklı olarak mineral yağlar. Proses gazları, azot ve oksijen. Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.

Taş/cüruf yününde temel oksitler silikon dioksit ve toprak alkali metal oksitleridir (ağırlıklı olarak kalsiyum ve magnezyum). Silisyum dioksit esas olarak bazalttan, briketlenmiş geri dönüştürülmüş malzemeden ve yüksek fırın cürufundan elde edilir. Toprak alkali metal oksitleri, kireçtaşı, dolomit ve briketlenmiş geri dönüştürülmüş malzemeden elde edilir. Belirli taş ve cüruf yünlerinde, yüksek fırın cürufu, bazalt ve geri dönüştürülmüş malzemelerden elde edilen önemli seviyelerde alüminyum oksit bulunur. Bazı düşük alümina formülasyonları, yalnızca bazalt ve cüruf yerine önemli düzeyde dökümhane kumu ve cam kırığı içeren harmanlardan üretilir.

Mineral yünün bağlayıcıya oranı, ürün uygulamasına bağlı olarak değişecektir. Tipik olarak mineral yün ürünleri, küttelece % 95 -98 oranında lif içerir. Bazı çok nadir ürünlerde, % 1 mineral yağ ve % 0,5 muhtelif bileşen (örneğin silisyum) ile maksimum % 20 oranında bağlayıcı bulunur. Taş/cüruf yünü ürünleri, benzer uygulamalara yönelik cam yünü ürünlerine kıyasla genellikle daha düşük oranlarda bağlayıcı içerir. Bunun nedeni, benzer uygulama gereksinimlerini karşılayan ürün yoğunluklarının cam yünü ile taş/cüruf yünü için farklı olmasıdır. Özellikle düşük yoğunluklu ürünler için aynı ısı yalıtım performansını sağlayan taş yününün yoğunluğu, cam yününün yoğunluğunun iki katı kadar olabilir.

Cam sanayiindeki tüm süreçlerde olduğu gibi, önemli bir hammadde kütlesi ergitme sırasında gaz olarak salınacaktır. Bu, esas olarak kullanılan geri dönüştürülmüş malzeme miktarına bağlı olacaktır, ancak tipik bir mineral yün işlemi için ateşleme kayıpları genellikle % 10 civarındadır. Harmanda yüksek miktarda karbonlu malzemeler kullanılırsa daha yüksek seviyeler gözlemlenebilir.

Bağlayıcı hammaddeleri genellikle sıvı kimyasallar olarak üretilmiştir, ancak bazen toz haldeki katı kimyasallar da kullanılır. Bağlayıcı formülasyonları genellikle gizli kabul edilir ve açıklanmaz. Fenollü reçine, tesiste üretilebilir veya bir dış tedarikçiden satın alınabilir. Bunun mineral yün işleminden kaynaklanan emisyonlar üzerinde çok az etkisi olacaktır, ancak doğal olarak reçine üretiminde tüketim ve emisyonlara dair belirli hususlar vardır. Bunlar, belgenin kapsamında değildir ve kimya sanayii konulu uygun kılavuz materyallere başvurulmalıdır.

Su, üretim sürecinde soğutma, temizleme ve bağlayıcı seyreltme ve dispersiyonu için kullanılabilir, ancak kullanımın kapsamı ve yöntemleri üretim tekniğine bağlıdır. Temel süreçler net su kullanıcılarıdır; şekillendirme ve kürleme alanlarında su buharı ve damlacıkların açığa çıkma potansiyeli mevcuttur. Cam yünü işlemleri için kırık söndürme sistemi de suyun buharlaşmasına neden olacaktır. Çoğu tesis, yüksek düzeyde geri dönüşümlü kapalı bir proses suyu sistemi işletir. Su, proses suyu sistemine şehir şebekesinden veya doğal kaynaklardan sağlanır; yağmur suyu da proseste kullanılabilir. Özellikle bağlayıcılar olmak üzere hammaddeler yoluyla da bir miktar su getirilir. Mineral yün üretimi için toplam

su tüketimi: cam yünü 3 ila 5 m³/ton ürün; taş yünü için ise 0,8 ila 10 m³/ton ürün'dür (ayrıca bkz. 2.9.1 ve Şekil 2.11).

3.8.2 Hava emisyonları

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Önerileri 2007]

Mineral Yün Sektöründe, hava emisyonları; hammaddelerin taşınmasından kaynaklanan emisyonlar, ergitme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar ve ilave süreçlerden veya hat işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar (yani elyaflaştırma ve şekillendirme, ürünün kondenzasyonu, soğutulması ve ürün bitim işlemleri) olmak üzere üç kısma ayrılabilir. İlave işlemlerden kaynaklanan ve ölçülmesi zor olan bir emisyon, kokudur. Kokular esas olarak kütleme işlemi ile ortaya çıkar ve bağlayıcı çözme ürünlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kısımda, proses emisyonları hakkında birim çıktı başına derişim ve kütle cinsinden bilgi verilmektedir. Ana proses faaliyetleri için atık gaz hacimlerinin verildiği Tablo 3.36'da, en büyük atık gaz hacminin elyaflaştırma ve şekillendirme işlemi ile ilişkili olduğu gözlemlenebilir.

Tablo 3.36: Mineral yün sektöründeki ana proses faaliyetleri için atık gaz hacimleri

Proses faaliyeti		Birim/ünite	Proses egzoz hacmi (bin)
Hammadde taşıma		Nm ³ /s	1 ila 5
Ergitme fırını	Elektrikli	Nm ³ /s	5 ila 20
	Konvansiyonel gaz yakıtlı, cam yün	Nm ³ /s	5 ila 40
	Oksi/gaz yakıtlı, cam yünü	Nm ³ /s	5 ila 40
	Kombine, cam yünü	Nm ³ /s	5 ila 40
	Kupol	Nm ³ /s	5 ila 30
	Daldırılır elektrik ark fırını	Nm ³ /s	3 ila 10
	Konvansiyonel gaz yakıtlı, taş yün	Nm ³ /s	10 - 50
Hat	Elyaflaştırma ve şekillendirme	Nm ³ /s	100 - 400
	Ürün kürlenmesi	Nm ³ /s	5 ila 40
	Ürün soğutma	Nm ³ /s	10 - 40
	Ürün bitim işlemleri	Nm ³ /s	5 ila 70
Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]			

3.8.2.1 Hammaddeler

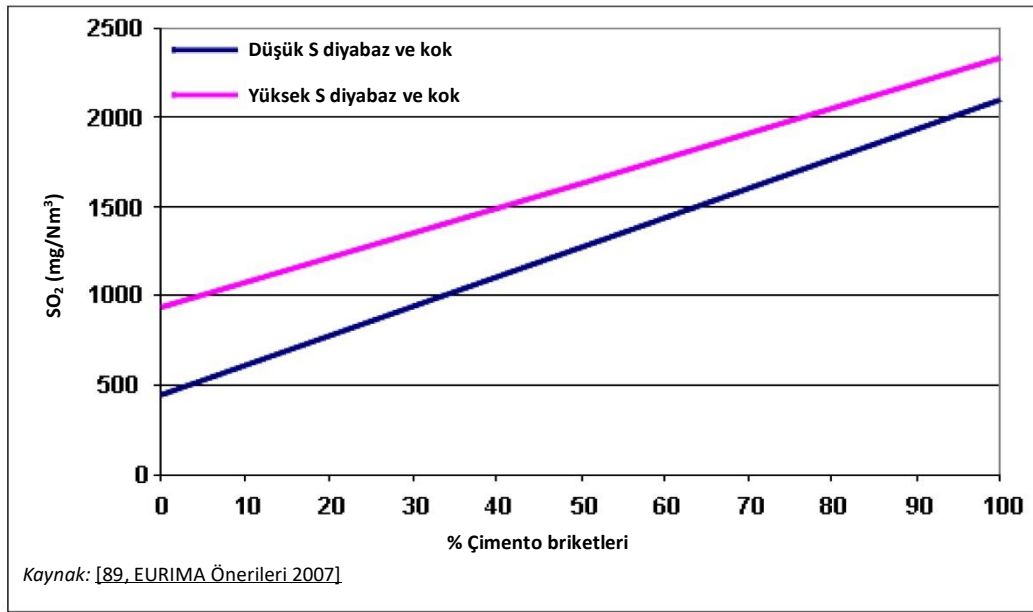
Modern cam yünü proseslerinin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm³'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, doğal olarak transfer sayısına ve işlenen malzeme miktarına bağlı olacaktır. Cam yünü hammadde harmanlarının genel olarak kuru olduğu ve pnömatik olarak taşındığı unutulmamalıdır. Bu nedenle, hammadde işlemeden kaynaklanan toz emisyonları potansiyeli diğer bazı sektörlere göre daha yüksek olabilir.

Taş yünü proseslerinde genellikle partikül çapı > 50 mm olan kaba hammaddeler kullanılır. Malzemeler silolarda veya depolama bölmelerinde saklanır, manuel sistemler ve konveyörler kullanılarak taşınır. Özellikle kuru havalarda depolama ve taşıma sırasında rüzgarla taşınan toz açığa çıkabilir. Toz emisyonlarını kontrol etmek için, depolama bölmelerinin ve konveyörlerin kapatılması, stok yığınlarının sönmülmesi vb. gibi bir dizi teknik kullanılabilir. Emisyon seviyesinin ölçülmesi zordur ve büyük ölçüde taşınan materyal miktarına ve bahsi geçen tekniklerin ne kadar iyi uygulandığına bağlı olacaktır.

Çimentoyla bağlı briketlere dönüştürülen üretim atığı, harman formülasyonunda sıklıkla kullanılır; tipik olarak yaklaşık %0,22 kükürt içerir ve harmanın %100'üne kadar kullanılabilir. Çimento briketleri ve yüksek fırın cürufu içermeyen bir yük, 500 ila 1000 mg/Nm³ SO₂ değerlerine ulaşabilir ve %100 çimento briketlerinden oluşan bir yük, Nm³ başına 2000 ila 2500 mg SO₂ salar. Salınımdaki varyasyon, kok içindeki farklı kükürt içeriklerinden, uygulanan kontrol tekniklerinden, baca gazı hacimlerinden, kupol içindeki oksidasyon durumlarından ve işlemde kullanılan volkanik kayanın (diyabaz) kükürt içeriğindeki varyasyondan kaynaklanmaktadır. Bazı Üye Devletlerde, SO_x emisyonlarını sınırlamak ve 1500

mg/Nm³'ün altında derişim değeri sağlamak için atık briketlerin tümünden geri dönüşümü uygulanmamaktadır. Bunun yerine, yaklaşık % 45'lik bir geri dönüşüm oranı uygulanmakta ve fazla atık arıtılmaktadır (Almanya). Diğer durumlardaysa, % 85 – 100 (Danimarka) aralığındaki yüksek geri dönüşüm oranlarına rağmen 1400 – 1800 mg/Nm³ SO₂ aralığında emisyonlar rapor edilmektedir. Farklı Üye Devletler tarafından benimsenen yaklaşımlar, üretim döngüsünün çıktılarına, atıkların en aza indirilmesine ve SO_x emisyonunun azaltılmasına karşı enerjinin azaltılmasına verilen önceliklere dayalı olarak önemli ölçüde çeşitlilik gösterebilir.

Şekil 3.9, kupol fırınında harman yükü ile geri dönüştürülen çimento briketlerinin yüzdesine dayalı olarak beklenen SO₂ derişimini göstermektedir. Belgenin yazıldığı tarihte (2010), atık akışını önlemek için çimento briketlerinin %100'e kadar geri dönüştürülmesi yaygın olarak uygulanmaktadır; aksi takdirde atık, harici bir geri dönüşüm tesisi tarafından işlenir veya atık sahasına bırakılır.



Şekil 3.9: Kupol fırınında harman yükü ile geri dönüştürülen çimento briketlerinin yüzdesine bağlı olarak beklenen SO₂ derişimi

Şekil 3.9'da sunulan alt çizgi, düşük kok yüzdesine (%10), kokta düşük kükürt içeriğine (%0,6) ve diyabazda kükürt olmamasına dayanmaktadır. Üst çizgi, daha yüksek bir kok yüzdesini (%13), kokta %0,7 sülfür ve diyabazda %0,05 kükürt içeriğini temsil eder. Çimento briketindeki kükürt içeriği her iki durumda da % 0,22'dir. Harman formülasyonundan kaynaklanan salınan kükürt oranının diyabaz için %50, kok ve briket için %75 olduğu tahmin edilmektedir. Bu rakamlar deneyime dayalıdır ve esas olarak kupol fırını içindeki oksidasyon durumlarına bağlıdır. Akıştaki vb. farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik %20 civarındadır. Tipik olarak, nihai SO₂ derişiminin bir tahmini, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir: SO₂ (mg/Nm³) = 750 + 15 × briket payı (%).

3.8.2.2 ErgitErgitme

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Önerileri 2007]

Cam yünü fırınları, ağırlıklı olarak hava-gaz ateşlemelidir (genellikle elektrik destekli), ancak kayda değer sayıda elektrikle ısıtılan fırın ve daha az sayıda oksi-gaz ateşlemeli fırın da mevcuttur. Taş yünü fırınlarının tamamı, az sayıda gaz veya elektrikle ısıtılan fırın istisnasıyla birlikte, kok ateşlemeli kupollardır. Salınan maddeler ve bunlarla ilişkili kaynaklar 3.2.2.1'de belirtilmiştir. Kirlilik kontrol teknikleriyle ilgili olduğu ölçüde, emisyon oluşum mekanizması 4. Bölümde daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Taş yünü kupol ocakları, daha konvansiyonel cam fırınlarından, prosten kaynaklanan emisyonları etkileyebilecek birkaç önemli farklılık gösterir. En önemli farklılıklardan biri, kupollerin güçlü indirgeyici

koşullar altında çalışmasıdır. Bu nedenle, NO_x emisyonları nispeten düşüktür, yakıttan veya hammaddeden salınan kükürtün bir kısmı hidrojen sülfüre indirgenir ve karbon monoksit seviyesi yüksektir. Çoğu işlemde, hidrojen sülfürü kükürt dioksit ve karbon monoksiti karbon dioksit yükseltgeyen bir son yakıcı sistemi bulunur. Kok ve hammaddeler, diğer bazı cam işlemlerine kıyasla daha yüksek seviyelerde metal, klorür ve florür içerebilir ve dolayısıyla bu maddelerin daha yüksek emisyonlarına yol açar.

Ergitme süreci emisyonlarını etkileyen ve giderek daha önemli hale gelmekte olan bir diğer faktör, geri dönüştürülmüş malzemelerin katkısıdır. Elyaf içeren bağlayıcı fırına geri dönüştürülmüş ise, organik bileşenler dikkate alınmalıdır. Cam yünü fırınlarında, NO_x emisyonlarını artırma etkisine sahip olabilecek potasyum nitrat gibi oksitleyici ajanların eklenmesi gerekebilir. Harman formülasyonunda yüksek miktarlarda geri dönüştürülmüş kırık kullanıldığında, oksitleyici ajan olarak mangan (IV) oksit kullanılabilir. Taş yünü proseslerinde, çimento genellikle proses artıklarının briketlenmesi için kullanılır ve briketlerin ergitilmesi sonucu kükürt içeriklerinden kaynaklanan SO₂ emisyonları oluşur.

Tablo 3.37, hem derişimler (mg/Nm³) hem de emisyon faktörleri (kg/ton erimiş cam) için sağlanan verilerle, 2005 yılında AB-27'deki mineral yün ergitme fırınlarından kaynaklanan emisyonların tam aralığını göstermektedir. Tabloda sunulan veriler, azaltma teknikleri olan ve olmayan her tür kurulumla ilgili geniş bir emisyon aralığına işaret etmektedir. Her bir ergitme tekniği ve işletim koşuluyla ilişkili emisyon aralıklarının daha ayrıntılı bir açıklaması Tablo 3.37–Tablo 3.41'de sunulmaktadır.

Tablo 3.37: 2005 yılında AB-27'deki mineral yün ergitme fırınlardan kaynaklanan emisyonların tam aralığı

Fırın tipi	Cam yünü (%100 toplanan veriler)			Taş yünü (%100 toplanan veriler)		
	Elektrikli	Rekuperatif	Oksi-gazlı	Kupol	Daldırılır elektrik ark fırını	Yakıt ateşlemeli
Madde ⁽¹⁾	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)
Partikül madde	0,2 - 128 (0,001 - 0,4)	0,3 - 35 (0,03 - 0,1)	0,2 - 20 (0,001 - 0,016)	0,25 - 1700 (0,04 - 3,5)	4,12 (0,006 - 0,02)	10 (0,02)
SO _x , as SO ₂	0,4 - 120 (0,001 - 0,02)	1 - 30 (0,002 - 0,5)	0,5 - 115 (0,002 - 0,32)	4 - 2600 (0,01-4,8)	335 - 350 (0,4 - 0,5)	285 (0,45)
NO ₂ olarak NO _x ⁽²⁾	13 - 580 (0,5 - 2,0)	50 - 1200 (0,3 - 10,6)	9 - 240 (0,02 - 0,4)	35 - 615 (0,07 - 1,7)	80 - 150 (0,1 - 0,2)	815 (1,3)
HF	0,1 - 3,0 (0,001 - 0,01)	0,13 - 20 (0,001 - 0,05)	0,09 - 3,2 (0,001 - 0,01)	0,1 - 11 (0,001 - 0,02)	8 (0,01)	1,2 (0,002)
HCl	0,1 - 4,5 (0,001 - 0,02)	0,2 - 7 (0,001 - 0,06)	0,55 - 3 (0,001 - 0,003)	0,7 - 150 (0,001 - 0,26)	43 (0,05)	5 (0,008)
Ortalama Sonuç sayısı	9	7	5	32	2	1

⁽¹⁾ Derişim değerleri 273 K, 1013 hPa ve kuru gazlar içindir. Emisyon faktörleri, ton erimiş cam başına kg olarak ifade edilir.

⁽²⁾ Düşük NO_x seviyeleri, oksi-gaz ateşlemeli fırınlardan alınmıştır.

Kaynak: [93, EURIMA veri tabloları %80 2007]

Tablo 3.38'de cam yünü üretiminde uygulanan elektrik ve gaz yakıtlı fırınlardan salınan toz emisyonlarına ilişkin değerler verilmiştir. Veriler, referans dönemde (2005) araştırmaya dâhil olan ergitme fırınlarında bir veya daha fazla kez gerçekleştirilen ölçümleri referans almaktadır. Tüm veri aralığı (%100) için ortalama, asgari ve azami değerler verilmiştir. Daha net bir görüntü sunmak için, yanıtıcı veri göstergelerini mümkün olduğunca elemek üzere sırasıyla verinin %75'i ve %50'sine karşılık gelen değerler de verilmiştir.

Tablo 3.38: Cam yünü üretimine yönelik ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları (2005 yılı)

Fırın tipi	Cam yünü ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ kuru gaz		
			Ortalama	Min.	Maks.
Elektrikli fırın					
İkincil azaltma yok	% 100	15	33	0	188
	% 75		37		
	% 50		9		
Torbali filtreli	% 100	19	36	0	274
	% 75		47		
	% 50		20		
ESP ile	% 100	9	9	0	17
	% 75		15		
	% 50		9		
Gaz/hava ateşlemeli fırın					
İkincil azaltma yok	% 100	7	189	8	651
	% 75		552		
	% 50		29		
ESP ile	% 100	33	20	2	90
	% 75		27		
	% 50		15		
Gaz/oksijen ateşlemeli fırın					
ESP ile	% 100	21	5	1	19
	% 75		6		
	% 50		4		
Elektrikli destekleme ve ESP ile	% 100	27	7	1	76
	% 75		8		
	% 50		3		
Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]					

Cam yünü üretim sektöründe gerçekleştirilen bir araştırmanın sonucu olan Tablo 3.38'de rapor edilen değerler, farklı ölçüm protokolleri ve çalışma koşullarıyla elde edilmiştir, bundan dolayı bazı veriler çelişkili veya tutarsız olabilir. Örneğin, azaltma uygulanan ve uygulanmayan elektrikli fırınların toz emisyonlarının derişimi arasındaki fark pek az görünmektedir; bunun sebebi muhtemelen azaltma uygulanmayan fırınların çoğunda ölçülen nispeten düşük toz derişimidir; bu değerler bir kirlilik giderme sisteminden sonra ölçülen tipik derişim değerleriyle aynı büyüklük mertebesinde.

Tablo 3.39'da cam yünü üretiminde kullanılan elektrik ve gaz yakıtlı fırınlardan salınan SO_x emisyonlarına ilişkin değerler verilmiştir. Veriler, referans dönemde (2005) araştırmanın kapsamında olan ergitergitme fırınlarında bir veya daha fazla kez gerçekleştirilen ölçümleri referans almaktadır.

Tüm veri aralığı (%100) ortalama, asgari ve azami değerleriyle verilmiştir. SO_x emisyonlarının yalnızca yakıtla çalışan fırınlar durumunda önemli olduğu gözlemlenebilir.

Toz emisyonu derişim değerlerine gelince, elektrikli fırınlar için Tablo 3.39'da raporlanan veriler, ölçülen düşük SO_x emisyon seviyeleri nedeniyle tutarsızlıklar gösterebilir. Gaz/oksijen ateşlemeli fırınlar ile ilgili olarak, elektrikli destekleme kullanımı baca gazı hacminde bir azalmaya ve sonuç olarak derişimde (mg/Nm³) verilen emisyonlarda olası bir artışa neden olur. Emisyon verilerinin kg/ton erimiş cam olarak verilmesi durumunda farklı bir eğilim gözlemlenebilirdi; ancak bu bilgi mevcut değildir.

Tablo 3.39: Cam yünü üretimine yönelik ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları (2005 yılı)

Fırın tipi	Cam yünü ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO _x emisyonları				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ , kuru gaz (SO ₂ olarak)		
			Ortalama	Min.	Maks.
Elektrikli fırın					
İkincil azaltma yok	% 100	8	2	1	6
Torbalı filtrelili	% 100	12	5	0	13
ESP ile	% 100	8	3	0	14
Gaz/hava ateşlemeli fırın					
İkincil azaltma yok	% 100	7	34	1	133
ESP ile	% 100	32	22	0	119
Gaz/oksijen ateşlemeli fırın					
ESP ile	% 100	17	10	0	63
Elektrikli destekleme ve ESP ile	% 100	27	28	2	98

Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]

Tablo 3.40'ta cam yünü üretiminde kullanılan elektrik ve gaz yakıtlı fırınlardan salınan NO_x emisyonlarına ilişkin değerler verilmiştir. Veriler, referans dönemde (2005) araştırmaya dâhil olan ergitergitme fırınlarında bir veya daha fazla kez gerçekleştirilen ölçümleri referans almaktadır.

Tablo 3.40: Cam yünü üretimine yönelik ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları (2005 yılı)

Fırın tipi ⁽¹⁾	Cam yünü ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO _x emisyonları				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ , kuru gaz (NO ₂ olarak)		
			Ortalama	Min.	Maks.
Elektrikli fırın					
İkincil azaltma yok	% 100	15	204	36	429
	% 75		245		
	% 50		175		
Torbalı filtrelili	% 100	21	234	4	670
	% 75		442		
	% 50		468		
ESP ile	% 100	9	514	13	1071
	% 75		970		
	% 50		232		
Gaz/hava ateşlemeli fırın					
İkincil azaltma yok	% 100	7	410	93	1031
	% 75		429		
	% 50		356		
ESP ile	% 100	31	636	110	1580
	% 75		800		
	% 50		601		
Gaz/oksijen ateşlemeli fırın					
ESP ile	% 100	20	119	7	244
	% 75		170		
	% 50		116		
Elektrikli destekleme ve ESP ile	% 100	27	215	82	691
	% 75		242		
	% 50		154		

⁽¹⁾ Farklı işletim koşulları kategorilerine (ikincil önlemler yok, ESP'li ve torba filtrelili vb.), yalnızca aynı bilgi kaynağından elde edilen Tablo 3.37 ve Tablo 3.38'de raporlanan emisyon verileriyle tutarlı olunması amacıyla atıfta bulunulmuştur. Bir filtreleme sisteminin uygulanmasının NO_x emisyonları üzerinde etkili olması beklenmemektedir; bununla birlikte elektrikli destekleme uygulandığı durumlarda, baca gazı hacminde azalma ile bağlantılı olarak NO_x emisyonlarının derişiminde (mg/Nm³) bir artış gözlemlenebilir.

Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]

Tüm veri aralığı (%100) için ortalama, asgari ve azami değerler verilmiştir. Daha net bir görüntü sunmak için, yanıltıcı veri göstergelerini mümkün olduğunca elemek üzere sırasıyla verinin %75'i ve %50'sine karşılık gelen değerler de verilmiştir.

Tablo 3.40'ta sunulan değerler farklı işletim koşullarını temsil etmektedir; özellikle yüksek miktarlarda dış cam kırığı kullanıldığında harman bileşimine eklenen nitrat miktarı önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Bu nedenlerle, tabloda sunulan verilerin kıyaslanması zordur ve veriler, belirli operasyonel parametrelere ilişkin ek bilgilerle birlikte değerlendirilmelidir.

Tablo 3.41'de cam yünü üretiminde kullanılan elektrik ve gaz yakıtlı fırınlardan salınan diğer emisyonlara (HCl, HF, CO) ilişkin değerler verilmiştir. Veriler, referans dönemde (2005) araştırmaya dâhil olan ergitme fırınlarında bir veya daha fazla kez gerçekleştirilen ölçümleri referans almaktadır.

Tüm veri aralığı (%100) ortalama, asgari ve azami değerleriyle verilmiştir.

Cam yünü ergitme fırınlarından HCl, HF emisyonlarının genellikle düşük olduğu tabloda görülmektedir.

Tablo 3.41: Cam yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan HCl, HF ve CO emisyonları (2005 yılı)

Fırın tipi	Cam yünü ergitme fırınlarından kaynaklanan HCl, HF ve CO emisyonları (Raporlanan verilerin %100'ü)				
	Madde	Sayı değerleri	mg/Nm ³ , kuru gaz ⁽¹⁾		
			Ortalama	Min.	Maks.
Elektrikli fırın					
İkincil azaltma yok	HCl	12	2	0	7
	HF	12	0,6	0,1	2,8
	CO	6	63	24	110
Torbali filtreli	HCl	6	3	0	7
	HF	3	0,7	0,1	1,0
	CO	6	55	17	176
ESP ile	HCl	7	2	0	7
	HF	8	0,7	0,1	3,1
	CO	4	264	114	638
Gaz/hava ateşlemeli fırın					
İkincil azaltma yok	HCl	4	6	5	7
	HF	4	2,4	0,6	3,3
	CO	3	165	61	280
ESP ile	HCl	32	3	0	19
	HF	32	3,0	0,1	20,0
	CO	8	7	1	20
Gaz/oksijen ateşlemeli fırın					
ESP ile	HCl	16	1	0	5
	HF	16	0,4	0	2,6
	CO	7	42	3	121
Elektrikli destekleme ve ESP ile	HCl	27	3	0	32
	HF	27	0,8	0,1	2,3
	CO	19	36	2	241

⁽¹⁾ Veriler, farklı ölçüm ve işletim koşullarıyla ilişkilidir. HCl ve HF emisyonlarının nispeten düşük başlangıç derişimleri nedeniyle, ESP veya torba filtre ile birlikte kuru yıkama sistemi uygulanmayabilir.
Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]

Taş yünü üretiminde kok, diyabaz ve çimento briketlerinin kullanımı, atmosfere salınacak daha geniş bir emisyon ve madde yelpazesini beraberinde getirir. Kupol fırınlarından ve daldırmalı elektrik ark fırınlarından kaynaklanan emisyonlara ilişkin veriler Tablo 3.42 ve Tablo 3.43'te sunulmaktadır.

Tablo 3.42'de taş yünü üretiminde kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan başlıca kirlenimlere (toz, SO_x, NO_x, HCl ve HF) ilişkin emisyon değerleri verilmiştir. Veriler, referans dönemde (2005) araştırmaya dâhil olan ergitme fırınlarında bir veya daha fazla kez gerçekleştirilen ölçümleri referans almaktadır. Tüm veri aralığı (%100) için ortalama, asgari ve azami değerler verilmiştir. Daha net bir görüntü sunmak için, yanıtıcı veri göstergelerini mümkün olduğunca elemek üzere verinin %75'i ve %50'sine karşılık gelen değerler de verilmiştir.

Kupol fırınlarından ve daldırmalı elektrik ark fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları arasında gözlemlenen fark, %0 ile %100 arasında değişebilen çimento briketi geri dönüşüm oranından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.42: Taş yünü üretimine yönelik ergitme fırınlarından kaynaklanan toz, SO_x, NO_x, HCl ve HF emisyonları (2005 yılı)

Madde/fırın tipi	Taş yünü ergitme fırınlarından kaynaklanan emisyonlar				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ kuru gaz		
			Ortalama	Min.	Maks.
Toz emisyonları					
Kupol fırın ⁽¹⁾	% 100	274	38	0	783
	% 75		42		
	% 50		11		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	10	28	4	57
	% 75		42		
	% 50		25		
SO₂ olarak SO_x					
Kupol fırını	% 100	353	1220	0	5555
	% 75		1590		
	% 50		1143		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	12	318	177	503
	% 75		435		
	% 50		320		
NO₂ olarak NO_x					
Kupol fırını	% 100	349	244	0	769
	% 75		350		
	% 50		225		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	11	201	68	407
	% 75		283		
	% 50		160		
HCl					
Kupol fırını	% 100	184	29	0	156
	% 75		35		
	% 50		14		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	6	39	18	53
	% 75		49		
	% 50		47		
HF					
Kupol fırını	% 100	186	2,5	0	40,0
	% 75		3		
	% 50		1		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	6	11	5,0	21,0
	% 75		14		
	% 50		11		

⁽¹⁾ Daha düşük değerler torbalı filtre kullanımı ile ilişkilidir.

Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]

(1) Daha düşük değerler torbalı filtre kullanımı ile ilişkilidir.

Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]

Tablo 3.43'te taş yünü üretimi ile ilişkili diğer kirlenimlere (H₂S, CO, CO₂, metaller) ilişkin emisyon değerleri sunulmaktadır. Veriler, referans dönemde (2005) araştırmaya dâhil olan ergitme fırınlarında bir veya daha fazla kez gerçekleştirilen ölçümleri referans almaktadır.

Tüm veri aralığı (%100) için ortalama, asgari ve azami değerler verilmiştir. Daha net bir görüntü sunmak için, yanıltıcı veri göstergelerini mümkün olduğunca elemek üzere verinin %75'i ve %50'sine karşılık gelen değerler de verilmiştir.

Tablodan, atık gaz yakıcılarıyla donatılmış kupol fırınlarının, daldırmalı elektrik ark fırınlarına kıyasla çok daha düşük CO emisyonu derişimleri sunduğu görülebilir; öte yandan, atık gazda bulunan karbon monoksitin (CO) büyük kısmının oksidasyonu nedeniyle ilişkili CO₂ emisyonları artar.

Tablo 3.43: Taş yünü üretimine yönelik ergitergitme fırınlarından kaynaklanan H₂S, CO, CO₂ ve metal emisyonları (2005 yılı)

Madde/fırın tipi	Taş yünü ergitergitme fırınlarından kaynaklanan emisyonlar				
	Raporlanan veriler	Sayı değerleri	mg/Nm ³ kuru gaz		
			Ortalama	Min.	Maks.
H₂S					
Kupol fırını ⁽¹⁾	% 100	97	1	0	11
	% 75		1		
	% 50		0		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	4	1	0	2
	% 75		2		
	% 50		1		
CO					
Kupol fırını ⁽¹⁾	% 100	80	36	0	260
	% 75		33		
	% 50		17		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	11	880	7	3126
	% 75		990		
	% 50		859		
CO₂					
Kupol fırını	% 100	150	228505	170	410400
	% 75		233081		
	% 50		232181		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	8	59750	45802	79509
	% 75		66717		
	% 50		58037		
Metaller (grup 1) ⁽²⁾					
Kupol fırını	% 100	48	0,2	0	1,1
	% 75		0,3		
	% 50		0,1		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	2	0,2	0,1	0,4
	% 75				
	% 50		0,4		
Metaller (grup 2) ⁽²⁾					
Kupol fırını	% 100	38	0,5	0	14
	% 75		0,1		
	% 50		0,03		
Daldırmalı elektrikli ark fırın	% 100	2	1,1	0,8	1.3
	% 75				
	% 50		1.3		

⁽¹⁾ Değerler atık gaz yakıcılarıyla donatılmış kupol fırınlarına ilişkindir.

⁽²⁾ Metaller, potansiyel çevresel etkilerine göre gruplandırılır (bkz. 3.2.2.1): Grup 1 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr_{VI}); Grup 2 (Sb, Pb, Cr_{III}, Cu, Mn, V, Sn).

Kaynak: [142, EURIMA Ağustos 2008]

3.8.2.3 İlave işlemler

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Önerileri 2007]

2.9 kısmında ele alındığı gibi, mineral yün ürünleri genellikle bir miktar fenollü reçine esaslı bağlayıcı içerir. Bağlayıcı çözelti, şekillendirme alanındaki liflere uygulanır, kürlleme fırınında çapraz bağlanır ve kurutulur. Şekillendirme alanından çıkan atık gaz, partikül madde, fenol, formaldehit ve amonyak içerecektir.

Taş yünü üretim tesislerinde kürlleme fırınının egzoz gazlarında HCN emisyonları bulunmuş olmakla birlikte, buna dair mevcut veri yoktur.

Partikül maddeler, genellikle çok küçük partikül boyutuna sahip olup ve hem organik hem de inorganik maddelerden oluşur. Bağlayıcı sistemine dâhil edilmiş olmaları halinde, düşük miktarlarda UOB ve amin de tespit edilebilir. İşlemin doğası gereği, gaz akışı yüksek hacme ve yüksek nem içeriğine sahiptir. Fırından salınan gazlar, uçucu bağlayıcı maddeleri, bağlayıcının çözme ürünleri, su buharı ve fırın brülörlerinden çıkan yanma ürünlerinden oluşacaktır.

Fırından çıktıktan sonra ürün içinden bol miktarda hava geçirilerek soğutulur. Bu gazın mineral yün lifi ve düşük miktarlarda organik malzeme içermesi muhtemeldir. Ürün bitim işlemleri, kesme, taşıma ve paketleme işlemlerini içerir ve bunlar da toz emisyonlarına neden olabilir.

Şekillendirme, kürlleme ve soğutmadan kaynaklanan emisyonları önemli ölçüde etkileyen bir faktör, ürüne uygulanan bağlayıcı miktardır; daha yüksek bağlayıcı içerikli ürünler genellikle daha yüksek emisyon seviyelerine yol açacaktır. Bağlayıcıdan kaynaklanan emisyonlar, esasen belirli bir süre içinde uygulanan bağlayıcı katıların kütlesine bağlıdır. Bu nedenle yüksek bağlayıcı içeriği ve bir düzeye kadar yüksek yoğunluklu ürünler daha yüksek emisyonlara neden olabilir. Bağlayıcı içeriği % 5 ile 12 arasında değişen ürünler, normalde 10 ila 80 kg/m³ aralığında düşük, orta ve yüksek yoğunluk olarak sınıflandırılır.

3.8.2 kısmında Tablo 3.35'te bildirildiği gibi, elyaflaştırma ve biçimlendirme işlemleriyle ilişkili atık gaz hacmi, ürün kürlleme işlemine göre çok daha yüksektir (yaklaşık 10 kat daha fazla).

Aşağıdaki Tablo 3.44, hem derişimler (mg/Nm³) hem de emisyon faktörleri (kg/ton ürün) için sağlanan değerlerle, 2005 yılında AB'deki cam yün tesislerinin ilave işlemlerinden kaynaklanan emisyonların tam aralığını göstermektedir.

Tablo 3.44: 2005 yılı için cam yünü üretim sektöründeki ilave işlemlerden kaynaklanan tüm emisyonlar

Madde	Cam yünü ilave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar ⁽¹⁾			
	Kombine elyaflaştırma, şekillendirme ve kütleme	Elyaflaştırma ve şekillendirme	Ürün kütleme	Ürün soğutma
	mg/Nm ³ (kg/t ürün)	mg/Nm ³ (kg/t ürün)	mg/Nm ³ (kg/t ürün)	mg/Nm ³ (kg/t ürün)
Partikül madde	4,4 - 128 (0,11 - 5,23)	11,4 (0,68)	65,2 (0,27)	12,5 (0,04)
Fenol	0,25 - 20 (0,009 - 0,93)	1,63 (0,093)	0,81 (0,0034)	
Formaldehit	0,3 - 16 (0,04 - 0,48)	1,71 (0,091)	1,13 (0,014)	
Amonyak	6,130 (0,3 - 6,5)	21,95 (1,13)	109 (0,69)	
Azot Oksitleri (NO _x)	7,7 (0,2)	5,82 (0,18)		
Uçucu organik bileşikler	2 - 47,5 (0,11 - 2,76)	11,2 (0,56)	20,1 (0,09)	
Karbondioksit	5236 (194)			
Ortalama sonuç sayısı	15	3	3	1

⁽¹⁾ Veriler her tür emisyon kontrol tekniğine ilişkindir.
Kaynak: [93, EURIMA veri tabloları %80 2007]

Aşağıdaki Tablo 3.45, hem derişimler (mg/Nm³) hem de emisyon faktörleri (kg/ton erimiş cam) için sağlanan değerlerle, 2005 yılında AB'deki taş yün tesislerinin ilave işlemlerinden kaynaklanan emisyonların tam aralığını göstermektedir.

Tablo 3.45: 2005 yılı için taş yünü üretim ilave işlemlerinden kaynaklanan tüm emisyonlar

Madde	Taş yünü ilave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar ⁽¹⁾			
	Kombine elyaflaştırma, şekillendirme ve kütleme	Elyaflaştırma ve şekillendirme	Ürün kütleme	Ürün soğutma
	mg/Nm ³ (kg/t ürün)	mg/Nm ³ (kg/t ürün)	mg/Nm ³ (kg/t ürün)	mg/Nm ³ (kg/t ürün)
Partikül madde	3,40 (0,08 - 1,8)	2 - 102 (0,06 - 1,7)	0,5 - 65 (0,001 - 0,68)	3,2 - 61,8 (0,008 - 0,41)
Fenol	2,40 (0,09 - 1,8)	0,11 - 40 (0,0035 - 1,36)	0,05 - 60 (0,0004 - 0,27)	0,05 - 17 (0,0002 - 0,12)
Formaldehit	3,11 (0,12 - 0,28)	0,3 - 15 (0,06 - 0,43)	0,1 - 25 (0,00025 - 0,09)	0,05 - 12 (0,0007 - 0,04)
Amonyak	12 - 67 (0,47 - 2,44)	0,3 - 113 (0,009 - 3,04)	0,3 - 347 (0,005 - 2,35)	1 - 30 (0,007 - 0,16)
Azot oksitleri (NO _x)	16 - 80 (0,4 - 3,56)	6,2 - 125 (0,16 - 5,36)	15 - 300 (0,04 - 1,37)	43,3 (0,12)
Uçucu organik bileşikler			1-7,4 (0,01 - 0,13)	6 (0,02)
Aminler		0,07 - 0,09 (0,0013 - 0,0017)	0,05 - 0,08 (0,0001 - 0,0002)	0,04 - 0,35 (0,0001 - 0,0002)
Ortalama sonuç sayısı	2	23	29	15

⁽¹⁾ Veriler her tür emisyon kontrol tekniğine ilişkindir.
Kaynak: [93, EURIMA veri tabloları %80 2007]

Cam yünü ve taş yünü üretimlerine uygulanan farklı azaltma tekniklerine ilişkin emisyon seviyeleri 4.5.6 kısmındaki Tablo 4.40'ta ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

3.8.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Mineral yün sektöründeki difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları, harman verme alanı, forehearth, kaplama formülasyonlarının depolanması ve hazırlanması, kesme, taşıma ve paketleme işlemleri ile ilişkilidir. Taş yünü üretiminde kullanılan ergitergitme fırınları tamamen kapalı olup, ön hazneleri bulunmamaktadır; difüz/kaçak emisyon potansiyeli yoktur.

Yerel egzoz havalandırma sistemleri genellikle, potansiyel difüz/kaçak emisyonların dahili veya harici olarak boşaltılması dahil, ergitergitme fırınının yakınındaki çalışma alanına gerekli havalandırmayı sağlamak için kullanılır.

İşçilerin potansiyel emisyonlara maruz kalmasını sınırlamak üzere kaplama formülasyonlarının depolanması ve hazırlanması için özel kapalı alanların kullanılması olağandır.

Bitmiş ürünlerin kesilmesi, taşınması ve paketlenmesi için yerel egzoz havalandırma sistemleri kullanılmaktadır.

3.8.3 Suya deşarjlar

Normal işletim koşullarında prosesler net su tüketicileridir ve sulu emisyonlar çok düşüktür. Çoğu işlemde, kapalı devre proses suyu sistemi kullanılır ve uygulanabilir olduğu durumlarda soğutma suyu ve temizleme suları bu sisteme beslenir. Bu sular uygun değilse veya hacimleri çok büyükse, ayrı olarak boşaltılmaları gerekebilir; ancak birçok tesiste aşırı hacimleri depolamaya yönelik, sisteme geri aktarım imkanı sağlayan bekletme tankı mevcuttur. Bazı tesislerde temiz ılık soğutma suyu kanalizasyona veya doğal su yoluna boşaltılır. Kimyasal setlerden, döküntülerden ve yağ ayırıcılardan küçük miktarlarda bulaşık atık su ortaya çıkabilir; bunlar genellikle proses suyu sistemine boşaltılır, tesis dışı arıtmaya gönderilir veya kanalizasyona boşaltılır.

Proses suyu sisteminin hacminin büyük olması, yüzey suyu ve kırık söndürme suyu gibi temiz su devrelerinin kontaminasyonuna neden olabilir. Sistemler kötü tasarlanmışsa veya uygun şekilde kontrol edilmiyorlarsa, daha ciddi emisyonlar ortaya çıkabilir. Özellikle kimyasal yıkama gibi yağ yıkama teknikleri kullanılıyorsa, atık su proses suyu sistemine uyumlu olmayabilir ve bu da bir başka atık akışına yol açar.

Cam yünü üretimine yönelik su devresinin bir 2.9.1 kısmındaki Şekil 2.11'de sunulmuştur.

3.8.4 Diğer atıklar

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Önerileri 2007]

Mineral yün üretimi için ana katı atık kaynakları aşağıda verilmiştir.

- Harman hammaddelerinin taşınmasından kaynaklanan döküntüler.
- Cam yünü üretiminde elyaflaştırma makinesinin baypası sırasında suda sıcak eriyiğe su verilmesiyle üretilen proses cam kırıkları.
- Taş yünü işlemlerinde elyaflaştırma makinesinin baypası sırasında ortaya çıkan elyaflaştırılmamış eriyik.
- Başta elektrostatik toz tutucular ve torbalı filtreler olmak üzere azaltma sistemlerinden toplanan toz.
- Elyaflaşmamış taş yünü. Bunlar, toplama kayışına ulaşamayacak kadar ağır olan elyaflaşmamış ve yarı elyaflaşmış haldeki malzemelerdir ve elyaflaştırma makinesinin altında toplanır. Elyaflaştırma makinesine çarpan eriyiğin yaklaşık % 10 ila 20'si bu maddeleri oluşturur.
- Düzeltme için kesilen ürün kenarları.
- Ürün değişimleri, hat kesintileri veya özelliklere uymayan üretimler sırasında oluşan atık yün.
- Genellikle % 50 civarındaki yüksek organik içeriğe sahip taş yünü filtrelerinden kaynaklanan atıklar.
- Taş yünü kupol kesintilerinden çıkan demir ve eriyik.
- Kupolun kapatılmasıyla çıkan eriyik ve taş karışımı.
- Proses suyu devresi filtrasyonundan kaynaklanan katı atık. Bu, işlem hacminin % 0,5 ila 2,0'sini temsil eder; lif, bağlayıcı katı maddeler ve % 50'ye kadar nemden oluşur.
- Paketleme atıkları ve diğer genel atıklar.
- Fırının yenilenmesinden kaynaklanan refrakter atıkları.

Cam yünü üretiminde, harman döküntüleri, cam yünü kırıntıları ve azaltım sistemlerinden toplanan tozların doğrudan fırına geri dönüşümü yaygındır. Cam yünü atığının bir kısmı, organik kısmının uzaklaştırılması için uygun şekilde işleminden geçirilmedikçe, organik bağlayıcının varlığından dolayı doğrudan ergitergitme fırınına geri dönüştürülemez.

Taş yünü proseslerinde briketleme prosesi kullanılıyorsa, elyaflaşmamış yün, baypas eriyik ve azaltma sistemindeki tozlar genellikle geri dönüştürülür. Lifli atıklar öğütülerek ve briketlere dâhil edilerek geri dönüştürülebilir, ancak bu da yine yalnızca kurulumda briketli bir geri dönüşüm sistemi çalıştırılıyorsa gerçekleşebilir. Kesilen kenarlar ise genellikle parçalanarak şekillendirme alanına geri dönüştürülür ve bazı durumlarda kuru atık ürün, üfleme yünü ürünü üretimi için parçalanabilir.

Yaygın olmamakla birlikte kupol kapatma ve boşaltma atıkları teorik olarak briketleme sistemi aracılığıyla geri dönüştürülebilir. Bu malzeme atıdır ve dolgu malzemesi (örn. yol dolgusu) olarak kullanılabilir. Kupol tabanında biriken metalik demir, toz emisyonlarına neden olacak ayrışmayı önlemek ve malzemenin harici geri dönüşüm olasılığını kolaylaştırmak için taş atıklarla karışmadan önce uygun özel bir kalıp ile toplanabilir. Atıklardan ayrılan metalik demiri hurda demir olarak satmak da mümkündür, ancak bunun mali getirisi düşüktür.

Üretim döngüsüyle ilişkili farklı atıkların yüksek geri dönüşüm seviyeleri, taş yünü ergitergitme işleminden kaynaklanan metal emisyonlarına neden olabilir.

Mineral yün sektöründe geri dönüştürülen atık yüzdesine ilişkin bir tahmin şu anda mevcut değildir. Bununla birlikte, aşağıdaki Tablo 3.46, mevcut uygulamanın bir göstergesini sunmaktadır; bazı tesisler geri dönüşüm uygularken bazıları uygulamamaktadır.

Tablo 3.46: Mineral yün sektöründe katı atık üretimi ve bertarafı

	Cam yünü	Taş ve cüruf yünü
Ürün çıktısının yüzdesi cinsinden, üretilen toplam atık	% 0 - 15	% 20 - 60
Geri dönüştürülen toplam atık yüzdesi	% 5 - 100	% 5 - 100
Tesis dışında bertaraf edilen toplam atık yüzdesi	% 0 - 100	% 0 - 100

3.8.5 Enerji

[27, EURIMA 1998][15, ETSU 1992] [89, EURIMA Önerileri 2007]

Cam yünü ergitergitmede en çok kullanılan enerji kaynakları doğalgaz ve elektriktir. Taş yünü ağırlıklı olarak kok kömürü ile çalışan kupol fırınlarında üretilir, bazı gazla çalışan ve elektrikle ısıtılan fırın örnekleri de mevcuttur. Ayrıca elyaflaştırma ve kütleme için önemli miktarlarda doğalgaz da kullanılmaktadır. Elektrik genel hizmetler için kullanılır ve yedek yakıt olarak hafif fuel oil, propan ve bütan kullanılabilir. Sektörde bir takım oksijen gazı ateşlemeli fırın da bulunmaktadır.

Enerji tüketiminin en çok gerçekleştiği alanlar ergitergitme, elyaflaştırma ve kütlemedir. Bu işlemlerin payları büyük değişim gösterebilir ve ticari etkenlere karşı hassastır. Tablo 3.47’de, ana işlem alanlarına göre mineral yün üretimindeki toplam enerji tüketimi göre gösterilmiştir. Elyaflaştırma, kütleme ve diğer tüketim değerleri tahminidir.

Tablo 3.47: Mineral yün üretiminde enerji kullanımı

Enerji dağılımı	Cam yünü	Taş/cüruf yünü
	GJ/ton bitmiş ürün	GJ/ton bitmiş ürün
Toplam enerji tüketimi	9 - 20	7 - 14
	toplam enerjinin %'si	toplam enerjinin %'si
ErgitErgitme	20 - 45	60 - 80
Fiberleştirme	25 - 35	2 - 10
Kütleme	25 - 35	15 - 30
Diğer	6 - 10	5 - 10

Kaynak: [89, EURIMA Önerileri 2007]

Elektrik ergitergitme için doğrudan enerji tüketimi ton bitmiş ürün başına 2,7 ila 5,5 GJ aralığındadır. Elektrikli ergitergitmede enerji tüketimi, % 100 hava-gazlı ergitergitme için gerekli olanın yaklaşık üçte biridir ve her bir işlem aşamasının enerji tüketimi buna göre tahmin edilebilir. Bu değerlerle yapılacak böylesine bir tahmin, hata payı çok yüksek olmakla birlikte, enerji tüketiminin bir göstergesi niteliğindedir.

Dış cam kırığının önemli bir yüzdesi (başta soda-kireç-silis camı olmak üzere), cam yünü üretiminde harman bileşiminde yaygın olarak kullanılır; dolayısıyla fırın enerji tüketimi üzerinde yüksek etkiye sahiptir. Bununla birlikte, cam kırıklarının kullanımına ilişkin, kimyasal bileşim uygunluğu ve kirlenici maddelerin (organik malzemeler, dökme metaller, vb.) mevcudiyeti gibi birçok teknik kısıtlama vardır.

3.9 Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri

[9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996] [41, ECFIA 1998] [143, ECFIA Kasım 2008]

Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri üretiminin ana çıktısı dökme yün ve battaniyelerdir. Hammaddelerden eriyik haline getirmede verim genellikle % 90'ın üzerindedir; eriyikten bitmiş ürüne (battaniye/yığın) verim ise % 55 ile %95 arasında değişir. Bununla birlikte, eriyikten bitmiş ürüne verimin bir tahmin olduğuna ve üretimin türüne, niteliğine, hacmine ve süresine göre değişebileceğine dikkat edilmelidir. Özellikle en düşük seviyeler, özel durumlara ve teknik olarak daha zor olan üretimlere karşılık gelir.

3.9.1 Proses girdileri

Yüksek sıcaklık yalıtım yünü, amorf alkali toprak silikat cam yünü (AES) ve alüminyum silikat cam yünü/refrakter seramik elyaflar (ASW/RCF) içerir. Üretim için uygulanan farklı kimyasal işlemler nedeniyle polikristal yünler (PCW) bu belgede ele alınmamıştır. Alüminyum silikat yünleri için iki ana ürün formülasyonu vardır; yüksek saflıkta alümina-silikat ve zirkonya alümina-silikat; AES yünleri içinse dört ana ürün formülasyonu bulunmaktadır; kalsiyum-silikat cam yünü, kalsiyum-magnezyum-silikat yünü, kalsiyum-magnezyum-zirkonyum-silikat yün, magnezyum silikat yün. Bunların formülasyonları 2.10'da verilmiştir. Doğal (genellikle işlenmiş) ve sentetik maddelerin bir kombinasyonu olan ana hammaddeler Tablo 3.48'de verilmiştir.

Tablo 3.48: Yüksek ısı yalıtım yünleri sektöründe kullanılan malzemeler

Açıklama	Malzemeler
ErgitErgitmede kullanılan hammaddeler	Alüminyum, kalsiyum, magnezyum, silikon ve zirkonyum oksitleri. Ayrıca amorf yüksek sıcaklık yünleri sektöründe kullanılan potasyum, sodyum, titanyum, demir ve kromun daha düşük oksit seviyeleri
İkincil işleme	Vakumlu şekillendirme için nişasta, lateks, silika veya kilin ıslak koloidal karışımı kullanılır. Diğer faaliyetlerde benzer maddeler ve bazen dolgu maddeleri ile organik polimerler veya reçineler kullanılabilir
Yakıtlar	Elektrik, doğal gaz, ve bazen hafif fuel oiller (yedek, ısıtma)
Su	Şehir şebekesi ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller, vb.)
Yardımcı malzemeler	Plastik, kağıt, karton ve ahşap gibi paketleme malzemeleri. Mineral yağlar (lif kaplama ve diğer genel kullanımlar). Soğutma suyu ve atık su için su arıtma kimyasalları.

Eriyik oluşturmada kullanılacak hammaddeler, ergitergitme işleminde gerekli bileşimleri verecek şekilde karıştırılır. Genelde ASW/RCF bileşiminin % 90'ından fazlası silisyum, alüminyum ve zirkonyum oksitlerinden elde edilir. Silisyum dioksit esas olarak yüksek kaliteli silika kumundan elde edilir; alüminyum oksit (alümina) ise doğal yollardan oluşabilir, ancak genellikle boksitin işlenmesiyle elde edilir. Zirkonyum dioksit doğada badeleyit olarak bulunur veya üretilebilir. AES için kullanılan kalsiyum oksit ve magnezyum oksit gibi diğer bileşenler, dolomit ve kireç gibi hammaddelerden elde edilir.

Atık malzemeler mümkünse toz olarak doğrudan fırına ve bazen de yün olarak ürünlere geri dönüştürülür. İkincil işleme çok duruma özel olabilir. Tablo 3.48'de vakumla şekillendirme için tanımlanan maddeler ortaktır, ancak diğerleri büyük ölçüde farklılık gösterebilir.

Yüksek sıcaklık yalıtım yünü sektöründe suyun başlıca kullanım alanları devrelerin soğutulması ve temizliktir. Soğutma suyu, genellikle kapalı devrelerde, çeşitli ekipmanları buharlaşma ve temizlemeden kaynaklanan kayıplarla soğutmak için kullanılır. Su ayrıca vakumla şekillendirme işlemlerinde ve kartonlar ile kağıtlar için kullanılır. Gerçek su tüketimi ve su buharı emisyonları yerel koşullara göre değişebilir (örn. ortam sıcaklığı ve su girdisinin sertliği).

ErgitErgitmede kullanılan tek enerji kaynağı elektriktir, doğal gaz ise özellikle kurutma gibi ilave faaliyetler için kullanılır.

3.9.2 Hava emisyonları

3.9.2.1 Hammaddeler

Modern yüksek sıcaklık yalıtım yünü proseslerinin çoğunda silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 5 mg/Nm^3 'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtrelenmiş hem de filtrelenmemiş sistemlerden kaynaklanan kütle emisyonları, transfer sayısına ve işlenen malzeme miktarına bağlı olacaktır.

3.9.2.2 ErgitErgitme

ErgitErgitme kaynaklı emisyonlar genellikle çok düşüktür ve esas olarak fırına verilen harman bileşiminde kullanılan hammadde tozlarından oluşur. Hammaddeler genellikle çok saftır ve neredeyse tamamen oksitlerden oluşur; bu nedenle, gaz giderme çok azdır ve önemli düzeyde gaz halinde bileşik emisyonu yoktur. Çoğu fırında, torbalı filtre yoluyla havalandırılan bir ekstraksiyon sistemi bulunur. Toz emisyonları genel olarak 20 mg/Nm^3 altındadır.

3.9.2.3 İlave işlemler

Toz ve elyaflı toz emisyonları, prodesteki birçok alandan ortaya çıkabilir. Bu alanlar; elyaflaştırma ve toplama, iğneleme, yağlayıcı yakma, kesme, düzeltme, paketleme ve ikincil işleme alanlarıdır. Partikül veya elyaflı toz salınımı olabilecek tüm alanlarda genellikle bir torbalı filtre sistemine açılan, verimli bir ekstraksiyon sistemi bulunur. Toz emisyonları genellikle 20 mg/Nm^3 'ün altındadır, elyaf emisyonları ise $1 - 5 \text{ mg/m}^3$ aralığındadır. Genellikle 50 mg/Nm^3 'ün altında olmak üzere, bazı ikincil işlemlerden, özellikle kurutmadan düşük seviyelerde organik emisyonlar da meydana gelebilir.

3.9.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Yüksek sıcaklık yalıtım yünü sektöründe difüz/kaçak emisyonların ana kaynağı kesme, taşıma ve paketleme işlemleriyle ilgilidir.

Yünleri yumuşatmak için kullanılan yağlayıcıların (polietilen glikol solüsyonu) depolanması, dökülme durumunda küçük bir difüz/kaçak emisyon kaynağı oluşturabilir.

Normalde kesme işlemleri, elyaflı tozu torbalı filtreye ileten vakum sistemi ile donatılmış makineler ile gerçekleştirilir.

Paketleme ve taşıma işlemleri karton kutulara vakumlu emme uygulanarak gerçekleştirilir.

Elyaf tozun potansiyel difüz emisyonlarına ilişkin özel hususlar normalde yürürlükte olan sağlık ve güvenlik yönetmeliklerine göre ele alınır; işyeri maruziyet seviyeleri yönünden kontrol edilirler. Özellikle Kategori 2 kanserojen olarak sınıflandırılan (bkz. 2009/2/AK sayılı Komisyon Direktifi) alüminyum silikat cam yünü (ASW/RCF), işyerinde maruz kalma yönünden özenle kontrol edilir.

3.9.3 Suya deşarjlar

Daha önce ele alındığı gibi, bu sektörde suyun temel kullanım alanları temizleme, soğutma ve vakumlu şekillendirme ile diğer ikincil işlemlerdir. Sulu emisyonlar; soğutma suyu sisteminden atılan sular, temizleme suları ve yüzey suyunun akması ile sınırlıdır. Temizleme suları herhangi bir endüstriyel tesiste karşılaşmaların dışında bir sorun teşkil etmez; eylemsiz katılar ve petrol içerebilir. Soğutma sisteminden atılan sularda, çözünmüş tuzlar ve su arıtma kimyasalları bulunur. Yüzey suyu kalitesi, drenajın ayrılma derecesine ve saha temizliğine bağlı olacaktır. Vakumlu şekillendirme için kullanılan su, düşük seviyelerde organik madde içerebilen bir tasfiye ile geri dönüştürülür. Sektör içerisinde çöktürme, eleme, yağ ayırıcılar ve asit giderme gibi basit azaltma teknikleriyle karşılaşılır.

3.9.4 Diğer atıklar

[41, ECFIA 1998] [143, ECFIA Kasım 2008]

HTIW sektöründe atık seviyeleri genellikle düşüktür. Mümkün olduğu her yerde atık malzemeler (harman, kenar kırpıntıları vb.) doğrudan fırına (yünler için işlem gerektirir) veya ürünlere geri dönüştürülür.

Bir fırının işletiminin sonunda (genelde her altı ayda bir), refrakter yapı sökölür ve yenisiyle değiştirilir. Sökme işleminden elde edilen malzeme, toz haline getirildikten sonra diğer üretim süreçlerinde kullanılabilir (örn. tuğla üretimi ve kumlama malzemesi olarak).

Toz halindeki malzemenin ve diğer katı atıkların yaklaşık %95'i yeniden kullanılmaktadır.

Atık, toz azaltma ekipmanında toplanan malzeme olarak da ortaya çıkar. Genel olarak, bu malzeme doğrudan fırına geri dönüştürülmez. Bulaştırma olasılığı ve bileşimin belirsizliği nedeniyle bunun yapılması zordur, ancak bu sorunu çözmek için bazı girişimler devam etmektedir. Malzemenin doğası gereği bertaraf edilmesi pahalı olabilmektedir; bu alternatif aramayı teşvik edici bir durum olup, artan atık bertarafı, enerji ve hammadde fiyatları nedeniyle atık üretme eğilimi azalmaktadır.

Mineral hammaddelerin çoğu yığın halde (silolu kamyonlarla) teslim edilir ve ambalaj atığına yol açmaz. Ürün paketlemeden (plastik, karton, ahşap vb.) kaynaklanan atık malzemeler genellikle uygun olduğu ölçüde yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Sektöre özgü olmayan diğer atıklar, geleneksel yollarla bertaraf edilir veya yerel veya ulusal programların izin verdiği ölçüde geri dönüştürülür.

AB ASW/RCF ve AES Sektörü bir bütün olarak yılda yaklaşık 700 - 900 ton elyaf içeren atık ve 100 - 700 ton diğer atık üretmektedir.

3.9.5 Enerji

[41, ECFIA 1998]

ASW/RCF ve AES sektöründe enerji kullanımı hakkında az bilgi bulunmaktadır. ErgitErgitme, yalnızca elektrikle ısıtarak yapılır ve uçucu kayıplar çok azdır. Dolayısıyla, bileşimin sahip olduğu yüksek ergitergitme enerjisi gereksinimine ve nispeten küçük fırınlara rağmen, doğrudan ergitergitme verimliliği (tesis dışı sorunlar hariç) oldukça yüksektir. Enerji tüketimi ton erimiş ürün başına 6,5 – 16,5 GJ aralığında değişmektedir. Diğer faaliyetler için enerji tüketimi ton ürün başına 3,5 - 9,5 GJ arasında değişmektedir (%75 bitmiş ürüne dönüşen hammadde oranına dayanarak).

3.10 Fritler

[98, ANFFECC Frit Sektörünün Konumu 2005] [99, ITC-C080186 2008]

Frit üretiminde ergitergitmenin ana çıktısı; görünüşe, özelliklere ve uygulamalara bağlı olarak çok çeşitli farklı formülasyonlara sahip olabilen camsı bir maddedir. Başlangıçta kullanılan hammadde ile karşılaştırıldığında, nihai ergitergitme çıktısı, formülasyona bağlı olarak ilk ağırlığın %85 – 90'ına karşılık gelir. Bu ağırlık kaybının çoğu, ergitergitme işlemi sırasında meydana gelen CO₂ ve H₂O emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Seramik frit üretim süreci herhangi bir atık üretmez; geri dönüştürülecek tek ürün azaltma sistemlerinde biriken toz olup, bu toz ürün üzerinde herhangi bir önemli etkiye sahip olmamakla birlikte planlama ve sık geri dönüşüm gerektirir. Yani, son ürün bakımından temel verim oldukça yüksektir, çünkü çoğu durumda ürün yalnızca suyla soğutulmakta (havayla soğutma da mümkündür), kayıplar yalnızca başta soğutma suyundan ayrılamayan katılardan meydana gelmektedir.

3.10.1 Proses girdileri

[47, ANFFECC 1999] [98, ANFFECC Frit Sektörünün Konumu 2005] [91, ITC - C071304 2007] [144, ITC Kasım 2008]

En yaygın formülasyonlarda kullanılan ana hammaddelerin listesi, harman bileşimindeki yüzdelere göre gösterge değerleriyle birlikte Tablo 3.49'da verilmektedir. Kesin değerler formülasyona göre değişmekle birlikte, aşağıda gösterilenler bir gösterge olarak kabul edilebilir.

Tablo 3.49: Frit üretiminde kullanılan ana hammaddeler

Frit türü	Hammaddeler	Harmandaki yaklaşık yüzdesi
Seramik/cam fritler	Zirkonyum bileşikler	7,7
	Feldispat	26,8
	Kuvars	25,9
	Borik asit	6,8
	Çinko oksit	8,4
	Dolomit	8,4
	Kalsiyum karbonat	13,4
	Potasyum nitrat	2,6
Emaye fritleri	Boraks	19,1
	Kuvars	42
	Sodyum nitrat	7,8
	Sodyum florosilikat	1,2
	Potasyum florosilikat	7,8
	Sodyum fosfat	3,2
	Titanyum oksit	18,9
Düşük erime noktalı fritler	Kırmızı kurşun (Pb ₃ O ₄)	50
	Kuvars	19,8
	Çinko oksit	15,1
	Borik asit	15,1

Su, soğutma ve temizleme için kullanılır; bunun yanı sıra erimiş camı soğutma, parçalama (söndürme) ve ıslak soğutma işlemi için kullanılır. Tüm su devreleri kapalı devrelerdir ve buharlaşma kayıpları da buna göre gerçekleşir. Diğer su kayıpları, ürünün su içeriği ve eriyik materyalle temas eden su devresinden toplanan katıların su içeriğidir. Su tüketimi 0,5 - 3 m³/ton seramik frit olarak tahmin edilmektedir.

Yakıt olarak doğal gaz kullanılır, en yaygın oksitleyici madde oksitleyici atmosferdeki havadır.

3.10.2 Hava emisyonları

3.10.2.1 Hammaddeler

Tüm silolar ve karıştırma tankları, toz emisyonlarını 30 mg/Nm³'ün altına indiren filtre sistemleri ile donatılmıştır. Filtreli veya filtresiz herhangi bir sistemdeki toz emisyonları, transfer sayısına, granül boyutuna ve işlenen malzeme miktarına bağlıdır. Oldukça nadir ve sadece düşük seviyelerde olmasına rağmen, bazı frit proseslerinde (özellikle emaye fritler için) kurşun veya diğer ağır metaller içeren hammaddeler kullanılabilir. Bu maddelerden kaynaklanan emisyonların asgari düzeyde kalması için gerekli tüm tedbirler halihazırda uygulanmaktadır.

3.10.2.2 Ergitme

Frit sektörü, yüksek sıcaklık ve yoğun enerji kullanımı gerektiren bir süreç olduğu için ergitme faaliyetleri sırasında hava emisyonları sebep olur. Salınan maddeler ve bunlarla ilişkili kaynaklar 3.2.2.1'de belirtilmiştir. Bu sektördeki tüm fırınlar doğal gazla ateşlenmekte olup kükürt oksit emisyonları, harman sülfat seviyesine bağlı olarak 200 mg/Nm³'ün altındadır.

Aşağıdaki Tablo 3.50, bu sektörden kaynaklanan tipik emisyon seviyelerini göstermektedir; istatistiksel döküm mevcut değildir.

Tablo 3.50: Frit sektörü için ergitme fırınlarından kaynaklanan tipik emisyon seviyeleri

Madde	Derişim mg/Nm ³ (1)(2)	Kütle emisyonu kg/ton eriyik (1)
	Ortalama değerler	Ortalama değerler
Toz	<40	<0,2
Azot oksitler (NO ₂ olarak)	1600 (3)	12 (3)
Kükürt oksitler (SO ₂ olarak)	<200	<1
Klorürler (HCl)	<10	<0,050
Florürler (HF)	<5	<0,025
Metaller (Grup 1+2)	<5	<0,025
Metaller (Grup 1)	<1	<0,01
(1) Veriler ≥20 ton/gün üretim kapasitelerine ilişkindir. (2) Emisyon derişimleri, %15'lik oksijen derişimini referans alır. (3) Değerler, karışık üretime (nitratlı ve nitratsız formülasyonlar) ilişkindir. Bir bacaya yönlendirilen bütün fırınların harman formülasyonlarında yüksek nitrat seviyeleri kullanıldığında, bu değerleri sürdürmek zor olacaktır. Kaynak: [99, ITC-C080186 2008] [84, İtalya Raporu 2007]		

Toz emisyonları, üretim tesisleri normalde filtreleme sistemleriyle donatıldığından, uygulanan azaltma sisteminin verimliliğine bağlıdır. Azot oksit emisyonları esas olarak yakma sistemine (hava/yakıt, oksijenle zenginleştirilmiş hava, oksijen-yakıt) ve harman bileşiminin hazırlanması için kullanılan hammaddelerdeki nitrat içeriğine bağlıdır. Frit sektörü ürünleri ve üretim tekniklerindeki yüksek değişkenlik, bu faktörler ile NO_x emisyonları arasında açık bir ilişki kurulmasını olanaksız kılmaktadır.

Harman bileşimine eklenen 1 kg'lık nitratin (sodyum, potasyum veya kalsiyum nitrat) 0,5 kg NO₂ ürettiği düşünülebilir; yani nitratin tümünün azot dioksit'e dönüştüğü kabul edilirse, harmanda her %1'lik nitrat kullanımı ton ergitilen frit başına azami 5 kg NO₂ üretimine yol açacaktır. Nitratların dönüşüm düzeyinin tahmin edilmesi kolay değildir, ancak azami değerin %30 ila %80'i arasında olduğu tahmin edilebilir (bkz. Bölüm 4.4.2.2).

Yanmadan kaynaklanan NO_x emisyonları, uygulanan farklı ergitme tekniklerinden ve operasyonel nedenlerle fırında tutulan fazla havadan etkilenir.

2.11.2’de bahsedildiği gibi, frit sektöründe ergitme fırınlarının yaygın kullanım şekli, egzoz gazında hacmen %15 oksijen içeriğiyle sonuçlanmaktadır. Bunun istisnası, oksijen yüzdesinin çok daha yüksek olduğu ve emisyon derişimleri tanımıyla alakadar olmayan oksı-fuel yanmadır. Sektörün bu kendine has özelliğı, bazı Üye Devletlerin yetkili makamları tarafından dikkate alınmıştır; örneğın İspanya’da frit üreten kurulumlar için izin verilen emisyon sınır değeri, sektör tarafından salınan egzoz gazlarının gerçek kondisyonuna çok yakın olan %15 oksijen değeri referans almaktadır.

Farklı yakma teknikleri (oksi-yakıt, oksijenle zenginleştirme, yakıt/hava) kullanan farklı fırınlardan gelen baca gazlarının kombinasyonu tek bir bacaya taşındığında, normalde sürekli ergitme fırınları için kullanılan %8 oksijen düzeltmesi geçerliliğini yitirir; bu gibi durumlarda kg/ton eritilen frit olarak ifade edilen emisyon faktörlerinin kullanılması daha uygun olacaktır.

Tablo 3.51, farklı işletim koşulları (yanma türü) ve harman formülasyonları (nitratlı veya nitratsız) ile ilişkili NO_x emisyon değerlerini sunar. Veriler, bir veya daha fazla fırının (en fazla 7) tek bir bacaya yönlendirildiğı tipik frit üretim tesislerine ilişkindir.

Tablo 3.51: Farklı yakma koşulları ve harman formülasyonları ile çalışan frit üretim tesislerinden NO_x emisyon seviyeleri örnekleri

Fırınlar ⁽¹⁾ Sayı	İşletim koşulları	Harmandaki nitratlar (%)	Baca gazı özellikleri			NO _x emisyonları	
			O ₂ (%)	Sıcaklık °C	Hacim Nm ³ /s	mg/Nm ³⁽²⁾	kg/t frit
7	Oksi-yakıt yanması; birkaç çeşit frit formülasyonu	1,9 ⁽³⁾	19,8	141	22011		10,9
1	Oksi-yakıt yanması; kristal frit	0	21,2	66	17351		7,1
2	Oksi-yakıt yanması; zirkonyum fritleri	1,7 - 4,1	21,2	114	7521		10,4
2	Oksijenle zenginleştirilmiş hava yanması; zirkonyum ve titanyum fritleri	3,7 - 1,6	17,6	136	10594	3890	6,6 ⁽⁴⁾
2	Oksijenle zenginleştirilmiş hava yanması; zirkonyum ve kristal fritler	<2 ⁽³⁾	19,2	114	40121	883	6,6 ⁽⁴⁾
6	Oksijenle zenginleştirilmiş hava yanması; bir takım frit formülasyonu çeşitleri	1,2 ⁽³⁾	-	-	-	1800	13,5 ⁽⁴⁾
2	Oksijenle zenginleştirilmiş hava yanması; bir takım frit formülasyonu çeşitleri	3 ⁽³⁾	-	-	-	3900	29,3 ⁽⁴⁾
2	Yakıt/hava yanması; bir takım frit formülasyonu çeşitleri	3 ⁽³⁾	-	-	-	1750	13,1 ⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Tek bacaya yönlendirilen fırın sayısı.
⁽²⁾ Derişimler hacimce %15 oksijene karşılık gelir.
⁽³⁾ Nitrat yüzdesi, tek bacaya bağı her bir fırının üretimine ve içeriğine dayalı bir ağırlıklı ortalama değeri ifade eder.
⁽⁴⁾ 7.5×10^{-3} dönüştürme faktörü, kg/ton erimiş frit olarak ifade edilen özgül kütle emisyonlarını tahmin etmek için kullanılmıştır.
NA = Mevcut değıl.
Kaynak: [166, ITC-C100244 2010]

3.10.2.3 İlave işlemler

İlave işlemlerden havaya salınan emisyonlar çok düşüktür. Frezelemenin büyük bölümü ıslak olarak gerçekleştirilir, ancak kuru frezeleme, azaltma teknikleri uygulanmazsa toz emisyonlarına neden olabilir.

3.10.2.4 Difüz/kaçak emisyonlar

Frit sektöründeki difüz/kaçak emisyonların ana kaynakları, ergitertitme fırınının harman verme alanı, kuru veya yaş frezeleme ve ürünün ambalajı ile ilişkilidir.

Harman verme alanı normalde tamamen kapalı tutulur, beklenen harman taşınması ve yanma gazlarından kaynaklanan potansiyel emisyonlar çok düşüktür.

Genel olarak, çalışma alanında hava kalitesinin sağlanması amacıyla, frezeleme işlemi (ıslak veya kuru) ve ürünün paketlenmesi torbalı filtre sistemiyle takip edilen ekstraksiyon altında gerçekleştirilir. Bu koşullarda beklenen difüz emisyonlar çok düşüktür.

3.10.3 Suya deşarjlar

Suya deşarjlar, normal soğutma, temizlik ve yüzeyden akan madde emisyonlarından oluşur. Söndürme ve frezeleme devreleri genellikle taze su takviyeli ve kapalıdır, ancak bazen tuz birikimini önlemeye yönelik bir arıtma işlemi mevcuttur. Emisyon seviyeleri çok düşüktür ancak askıda katı madde içerebilir ve bazı durumlarda bu askıda katı maddeler ağır metaller içerebilir. Metaller genellikle cama bağlanır ve katı ayırma teknikleri ile uzaklaştırılabilirler.

Bazı durumlarda, alınan suya bağlı olarak boşaltım noktasındaki emisyon seviyeleri Tablo 5.5'te verilen değerlerden önemli ölçüde yüksek olabilir. Bu gibi durumlarda atık suyun seramik sanayiinde dış kullanımı mümkündür.

3.10.4 Diğer atıklar

Atık seviyeleri genellikle çok düşüktür. Ana proses atığı, su devrelerinden ayrılan katı malzemedir (çoğunlukla frit). Bileşim çok değişken olduğu için bu malzeme genellikle geri dönüştürülmez. Çoğu tesiste atığın iyi üretime oranı % 0,5 - 3 civarındadır.

Mineral hammaddelerin çoğu yığın halde teslim edilir ve ambalaj atığına yol açmaz. Ürün paketlemeden (plastik, karton, ahşap vb.) kaynaklanan atık malzemeler genellikle uygun olduğu ölçüde yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Sektöre özgü olmayan diğer atıklar, geleneksel yollarla bertaraf edilir; veya yerel ya da ulusal programların izin verdiği ölçüde geri dönüştürülür. Bir fırının çalıştırılmasının sonunda, refrakter yapı sökülür ve yenisiyle değiştirilir. Mümkün olduğunda bu malzeme yeniden kullanılmak veya satılmak üzere geri kazanılır.

3.10.5 Enerji

Frit fırınları normalde cam endüstrisinde kullanılan diğer fırınlara göre çok küçüktür. Sadece birkaç fırın günde 20 tonu aşan kapasitelere sahiptir. Mevcut tüm fırınlar doğal gazla çalışır ve bilinen bir ticari ölçekte elektrikli ergitergitme örneği yoktur. Bir tesiste genellikle her biri farklı frit formülasyonları üreten birkaç fırın bulunur. Ton erimiş frit başına enerji kullanımı diğer sektörlerle karşılaştırılabilir (ton frit başına 300 Nm³ gaza karşılık gelen >13 GJ/ton). Oksi yakıt ateşlemeli fırınlar 9 – 13 GJ/ton frit aralığında daha düşük değerler göstermektedir. Diğer proseslerde tüketilen enerji, ilave işlem sayısının azlığı ve ürünlerin genellikle kurutulmadığı göz önüne alındığında genellikle düşüktür. Önemli sayıda fırın, oksitleyici ajan olarak oksijen kullanır, bu da enerji tasarrufuna ve emisyonların azalmasına neden olabilir. Ancak, oksijen üretimi için gerekli olan enerji, ton frit başına toplam enerji tüketiminin tahmininde dikkate alınmalıdır. Ayrıca, oksijen üretimi ile bağlantılı dolaylı emisyonlar ve ek ortamlar arası etkiler de (refrakter malzemelerin aşınması) dikkate alınmalıdır.

4. MET'İN BELİRLENMESİNDE DEĞERLENDİRİLEBİLECEK TEKNİKLER

4.1 Giriş

Bu bölümde, bu belge kapsamındaki faaliyetlerde yüksek düzeyde çevresel koruma sağlama potansiyeline sahip olduğu düşünülen teknikler (veya bunların kombinasyonları) ve ilgili izleme çalışmaları açıklanmaktadır.

Çevre yönetim sistemlerini, prosese entegre teknikleri ve boru çıkışı tedbirlerini kapsar. Atığın en aza indirilmesi ve geri dönüşüm prosedürleri de dâhil olmak üzere, atık önleme ve yönetimi de dikkate alınmaktadır. Ayrıca, hammadde, su ve enerji tüketimini azaltmaya yönelik teknikler de kapsamda yer almaktadır.

Direktifin Ek III kısmında MET'i belirlemek için bir dizi kriter sıralanmış olup bu bölümdeki bilgiler kapsamında bu hususlar ele alınacaktır. Direktifte verilen MET tanımına göre tekniklerin karşılaştırılması ve bir değerlendirme yapılması amacıyla her bir tekniğe dair toplanan bilginin özetlenmesi için mümkün olduğunca Tablo 4.1'de gösterildiği şekliyle standart yapı kullanılmaktadır.

Bu bölümün, belli bir kurulum için MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek, sektörde uygulanabilecek tekniklerin veya mevcut ya da geliştirme aşamasında olabilecek tekniklerin tümünü kapsayan bir liste sunduğu düşünülmemelidir.

Tablo 4.1: Bu bölümde tanımlanan her bir teknik için verilen bilgiler

Bölüm içinde başlık	Verilen bilginin türü
Açıklama	Kimyasal denklemlerin veya diğer denklemlerin, resimlerin, diyagramların ve akış şemalarının uygun şekilde kullanıldığı kısa bir teknik açıklama.
Elde edilen çevresel faydalar	Tekniğin uygulanmasıyla elde edilecek başlıca potansiyel çevresel faydalar (enerji tüketiminin düşürülmesi, suya, havaya ve toprağa salınan emisyonların azaltılması, ham madde tasarrufu, üretim veriminde artış, atık miktarının azaltılması vb.)
Ortamlar arası etkiler	Tekniğin uygulanmasıyla ilişkili olumsuz çevresel etkiler, tekniğin bir bütün olarak çevre üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için teknikler arasında karşılaştırma yapılmasına imkan sağlar. Bu, aşağıdaki gibi konuları içerebilir: - hammadde ve su tüketimi ve özellikleri - enerji tüketimi ve iklim değişikliğine katkısı - stratosferik ozon tüketme potansiyeli - fotokimyasal ozon oluşturma potansiyeli - havaya salınan emisyonlardan kaynaklanan asitleşme - ortam havasında partikül maddeler (mikro partiküller ve metaller dahil) - havaya veya suya deşarjlardan kaynaklanan kara ve suların ötrofikasyonu - sudaki oksijeni tüketme potansiyeli - kalıcı/toksik/biyolojik olarak birikebilen bileşenler (metaller dahil) - kalıntı/atık oluşumu - kalıntıları/atıkları yeniden kullanma veya geri dönüştürme imkanının sınırlandırılması - gürültü ve/veya koku oluşumu - kaza riskinin artması Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkilere ilişkin referans belge (ECM) dikkate alınmalıdır.
İşletim verileri	Gerçek ve tesise özgü performans verileri (hammadde, su, enerjiden kaynaklanan emisyon ve tüketim seviyeleri, üretilen kalıntı/atık miktarları dahil). Aşağıdakilerle ilgili diğer yararlı bilgiler: - teknik nasıl tasarlanacağı, çalıştırılacağı, sürdürüleceği, kontrol edileceği ve hizmet dışı bırakılacağı - teknik kullanımına ilişkin emisyonların izlenmesine dair hususlar - teknik hassasiyeti ve dayanıklılığı - kazaların önlenmesi ile ilgili konular.
Uygulanabilirlik	Sektörde teknik uygulanamayacağı tesis veya proses türlerinin yanı sıra, belli durumlarda tesis yaşı (yeni veya eski), yenilemeyle ilgili faktörler (alan mevcudiyeti), tesis boyutu (büyük veya küçük), halihazırda kurulu teknikler, ürün türü veya kalitesi göz önünde bulundurulduğunda uygulamaya dair kısıtlamaları gösterir.
Ekonomi	Maliyetler (sermaye/yatırım, işletme) ve olası tasarruflar (örn. azaltılmış hammadde veya enerji tüketimi, atık ücretleri) veya nasıl hesaplandığı/tahmin edildiğine ilişkin ayrıntılar da dâhil olmak üzere gelirler hakkında bilgi. Yeni kurulumların inşa edilmesine ve mevcut kurulumların yenilenmesine ilişkin ekonomik bilgi de dâhil edilecektir. Mümkün olduğu ölçüde, teknik genel ekonomik etkisinin saptanmasına olanak sağlamalıdır.
Uygulamanın itici gücü	Uygulanabilir olduğu ölçüde, bugüne kadar teknik uygulanmasını sağlayan veya teşvik eden özel yerel koşullar, gereklilikler (örneğin mevzuat, güvenlik tedbirleri) veya çevresel olmayan tetikleyiciler (örneğin verimin artması, ürün kalitesinin iyileşmesi, sübvansiyonlar ve vergi indirimleri gibi ekonomik teşvikler) sunulur.
Örnek tesisler	Tekniğin uygulandığı ve bu belgenin yazılmasında kullanılan bilgilerin alındığı tesise (tesislere) atıf. Teknikin Avrupa’da veya dünya genelinde ne kadar kullanıldığının bir göstergesi.
Referans literatür	Bölüm yazılırken kullanılan ve teknikle ilgili daha ayrıntılı bilgiler içeren literatür veya diğer referans materyal (örneğin kitaplar, raporlar, çalışmalar, web sayfaları). Referans materyalin çok sayıda sayfadan oluştuğu durumlarda, ilgili sayfaya (sayfalara) ya da bölüme (bölümlere) atıfta bulunulacaktır.

Bu bölüm, aşağıdakileri kapsayan sekiz ana kısımdan oluşmaktadır:

1. ErgitErgitme tekniğinin seçimi
2. Malzemelerin taşınması
3. ErgitErgitme faaliyetlerinden havaya salınan emisyonların kontrolüne yönelik teknikler
4. ErgitErgitme dışı faaliyetlerden havaya salınan emisyonların kontrolüne yönelik teknikler
5. Suyu deşarjları kontrol etme teknikleri
6. Diğer atıkları en aza indirme teknikleri
7. Enerji
8. Çevresel yönetim sistemleri.

Bir bütün olarak cam sanayiinin en önemli çevresel etkisi, ergitergitme faaliyetleriyle meydana gelen hava emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu emisyonları azaltma teknikleri, 4.2, 4.3 ve bu bölümün en uzun ve en ayrıntılı kısmı olan 4.4'te açıklanmaktadır. Açıklanan tekniklerin çoğu, cam sanayiindeki tesislerin büyük bölümünü ilgilendirir ve ortak bir temele dayanır. Bu nedenle, 4.4 kısmı madde bazlı bir yaklaşımla yapılandırılmıştır ve her bir madde için çeşitli emisyon azaltma teknikleri açıklanmıştır. Teknikler, üzerinde en büyük etkiye sahip oldukları maddeyle ilgili kısımda açıklanmış olmakla beraber, tekniklerin çoğu kaçınılmaz olarak birden çok madde üzerinde olumlu ve olumsuz etki sahibidir. Uygun olduğu durumlarda, diğer maddeler üzerindeki etkiler de tanımlanmış ve diğer bölümlere referansta bulunulmuştur.

Belgenin çeşitli bölümlerinde “birincil” ve “ikincil” azaltma tedbiri terimleri kullanılmaktadır. Bu terimler bazı teknikleri kategorize etmeye yardımcı olur. Genel olarak birincil teknikler, kirleticili maddelerin oluşumunu azaltan veya önleyen tekniklerdir; ikincil teknikler ise, kirleticileri daha az zararlı hale getiren (örneğin başka türlere dönüştürerek) veya yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülebilir veya bertaraf edilebilecek bir biçimde toplanmalarını sağlayan tekniklerdir. Bazı teknikler, her iki kategorinin de tam anlamıyla kapsamında olmayabilir. Bu durum metnin ilgili kısımlarında açıklığa kavuşturulmuştur.

Çeşitli tekniklerin performansını karşılaştırabilmek ve değerlendirebilmek için, bilgi mevcut olduğu sürece, tesisin işletim parametreleri, numune alma prosedürü ve ortalama alma süresi ile birlikte emisyon verileri sunulmuştur.

Emisyonlarla ilgili veriler, mutlak değerler veya derişim değerleri olarak, ve fiili üretim veya üretim kapasitesine göre ifade edilebilir. Mümkün olduğu ölçüde, herhangi bir tekniğin genel ekonomik etkisini belirlemek üzere en çok ilgi arz eden ekonomik yönleri açıklanacaktır. Maliyetler ve tüketim için, üretim veya zamana atıfta bulunan çeşitli ifadeler kullanılabilir.

Bu bölümde dikkate alınması gereken önemli bir husus, bir uygulamada başarılı olan bir tekniğin, farklı bir sektörde veya hatta aynı sektördeki farklı bir tesiste kullanılması durumunda çok farklı sonuçlar doğurabileceğidir. Maliyetler, çevresel performans ve ilgili avantajlar ve dezavantajlar, farklı sektörler ve tesisler özelinde büyük oranda farklılık gösterebilir. Her bir teknik, çeşitli durumlarda kullanılabilirliği ve uygulanabilirlik potansiyeli yönünden ele alınmıştır.

Bir tekniği değerlendirirken, belirli ekipmanların zaman içinde daha az verimli hale gelebileceğini ve tüm emisyon türlerinin olmasa da bazılarının artma eğilimi gösterebileceğini göz önünde bulundurmak da önemlidir. Bu göreceli artışın küçük olması muhtemel olmakla birlikte, ekipmanın yenilenmesinin zaman kaybına neden olabileceği akılda tutularak, ulaşılabilir emisyon seviyeleri değerlendirilirken olağan ve beklenen eskime özelliklerine gereken dikkat gösterilmelidir. Bu nedenle, işletmecisi tesisin emisyon özelliklerini dikkatle izlemeli, tesisin bakımını düzenli olarak yapmalı ve gerektiğinde yenilemeyi zamanında planlamalıdır.

Bu bölümde açıklanan herhangi bir tekniğin bir sürekli ergitme işleminde uygulanabilirliğini değerlendirirken, işletim dönemi sırasında fırına uygulanıp uygulanamayacağını veya yalnızca (veya en iyi şekilde) yenileme esnasında mı uygulanabileceğini dikkate almak gerekir. Cam sanayiinin önemli bir özelliği, fırınların sınırlı bir çalışma ömrüne sahip olması ve bu sürenin sonunda çeşitli derecelerde onarım veya yenileme gerektirmesidir. Genelde cam ambalaj, düz cam, cam yünü, ve kesintisiz cam elyaf üreten fosil yakıtlı fırınlar günümüzde tipik olarak 10 ila 20 yıl, bazı durumlarda 20 yıl çalışmaktadır. Özel cam ve cam ev eşyalarına yönelik fosil yakıt ateşlemeli fırınlar genellikle 3 ila 8 yıl kesintisiz olarak çalışır. Elektrikli fırınlar, tüm uygulamalarda, 2 ila 7 yıl gibi daha kısa çalışma ömürlerine sahip olma eğilimindedir. Kupol fırınları ve toplu ergitici gibi cam frit üretimine yönelik bazı diğer fırınlar, birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişen çok daha kısa süreler için çalıştırılır.

Kesintisiz süreçler için iki ana yenileme kategorisi vardır.

- ‘Normal’ yenileme, fırının refrakterinin ve uygun olduğu durumlarda rejeneratörlerin, malzemenin tamamen veya kısmen değiştirilmesi ile onarılmasıdır. Fırın çerçevesinde önemli ölçüde düzeltme yapılmaz ve fırın boyutları pratik olarak aynı kalır. Fırın gereksinimlerinde veya teknolojisinde önemli bir değişiklik olmadığı durumlarda, bu, işletim dönemleri arasında en sık gerçekleştirilen yenileme türüdür.
- ‘Tamamen’ yenileme, genellikle fırında ve tüm bağlantılı ekipman ve kurulumlarda önemli değişiklikler veya bunların tümünden yenileriyle değiştirilmesini içerir. Bu, yeni bir fırının inşa edilmesi ile benzerdir, ancak çoğu durumda mevcut altyapının büyük bir kısmı ve özellikle rejeneratörler olduğu gibi kalır. Bu tür yenileme daha az yaygındır ve genellikle fırının gereksinimlerinde (örn. ergitme alanının büyük ölçüde artırılması veya ateşleme kapasitesinde önemli değişiklikler) veya teknolojisinde büyük değişikliklerin söz konusu olduğu yerlerde gerçekleştirilir. Tamamen yenilemede genellikle normal yenilemeye kıyasla çok daha yüksek maliyetler söz konusudur.

Fırının işletimi sırasında üzerinde değişiklik yapma imkanı sınırlıdır. Yine de, hasarlı refrakterleri değiştirmek veya desteklemek için sıcak onarımlar yapılabilir ve brülör değişimleri veya değişimleri de nispeten basit olabilir. Ergitme teknolojisini etkileyen büyük değişikliklerin fırın yenileme zamanında uygulamaya geçirilmesi, genellikle ekonomik açıdan en uygun seçenektir. Bu, karmaşık ikincil önlemler tedbirleri için de geçerli olabilir. Bununla birlikte, ikincil tekniklerin kurulumu da dâhil olmak üzere fırının çalışmasına yönelik birçok iyileştirme, işletme sırasında da gerçekleştirilebilir. Bu konular, çeşitli tekniklerin uygulanabilirliği değerlendirilirken, uygun olduğu ölçüde ele alınmıştır.

‘Normal’ bir yenileme ile ‘tamamen’ yenileme arasında kesin bir ayrım yoktur ve en basit normal yenileme ile fırının tamamen yıkılarak yeniden yapılması arasında bazı kademeler bulunmaktadır. Örneğin, küçük bir onarım, belirli bir hasarı gidermek veya küçük bir değişiklik yapmak üzere sıcak veya soğuk olarak gerçekleştirilebilir. Ayrıca, planlanmış bir soğuk onarımın yapıldığı, ancak refrakterin çoğunun korunduğu ve yalnızca hasarlı parçaların değiştirildiği küçük yenilemeler de yapılabilir. Hem maliyeti hem de yeni teknolojinin uygulanabilirliğini etkileyen en önemli nokta, fırın çerçevesinde ve dolayısıyla boyutlarında önemli bir değişiklik olup olmadığıdır.

Daha sık yenileme ve daha düşük sermaye maliyetleri gerektiren daha küçük fırınlar başta olmak üzere belli durumlarda; çevresel iyileştirmeleri ve fırın yenilemelerini koordine etmenin avantajları daha az etkilidir, ancak bu durumlarda bile çevresel iyileştirmelerin, ergitme fırını için planlan diğer yatırımlarla ve işlemlerle koordinasyonunu sağlamak daha ekonomik olabilir.

4,2 ErgitErgitme tekniğinin seçimi

Cam sanayiinde kullanılan ergitergitme teknikleri 2. Bölümde açıklanmaktadır. Bunların boyutları, küçük pota ocaklarından günde 900 – 1000 tona kadar cam üreten büyük rejeneratif fırınlara kadar değişir. ErgitErgitme tekniğinin seçimi birçok faktöre, özellikle gerekli kapasite, cam formülasyonu, istenen cam kalitesi, yakıt fiyatları, oksijen fiyat seviyeleri, yerel elektrik fiyatı ve mevcut altyapıya bağlıdır. Bu seçim, yeni bir tesis için veya bir fırının yenilenmesi sırasında alınan en önemli ekonomik ve teknik kararlardan biridir. Belirleyici faktörler gerekli kapasite ve cam tipidir.

Rejeneratif veya reküperatif fırın arasındaki seçim, normalde ekonomik ve teknik nedenlere dayanır. Bu nedenle, çevresel yönler burada sadece kısaca ele alınmaktadır. Konvansiyonel hava-yakıt ateşlemesi ile elektrikli veya oksi-fuel ergitergitme arasındaki seçim, MET'in belirlenmesinde önemli bir faktördür ve bu teknikler ayrı ayrı açıklanmıştır. Benzer şekilde diğer özel ergitergitme teknikleri, örneğin LoNO_x® ergitici, maddeye özel kısımlarda ayrıca tartışılmaktadır.

İkinci Bölümde açıklanan tekniklerin her birinin kendine özgü avantajları, dezavantajları ve sınırlamaları vardır. Örneğin, belgenin yazıldığı tarihte (2010), yüksek hacimli düz cam üretmenin teknik olarak en iyi ve en ekonomik yolu, yandan ateşlemeli büyük rejeneratif fırın kullanımıdır; bununla birlikte oksijenle çalışan düz cam fırınları oksijen fiyat düzeyine bağlı olarak ekonomik bir alternatif sağlayabilir. Alternatifler, sektörde hala kanıtlanmamıştır veya işletmenin ekonomik veya teknik yönlerinden (örn. elektrikli ergitergitme veya reküperatif fırınlar) ödün verilmesini gerektirmektedir. Benzer özelliklere sahip cam sektörleri için (örneğin, cam ambalaj ve cam ev eşyası), bir sektör için uygun olan bir ergitergitme sektörü, bir diğeri için teknik ve ekonomik hususlar bazında uygun olmayabilir.

Fırının çevresel performansı, ergitergitme tekniği seçimi, cam tipi ve kalite gereksinimi, çalıştırma yöntemi ve sağlanan ikincil önlemler tedbirlerinin bir kombinasyonuna bağlıdır. Çevresel bir bakış açısıyla, özellikleri itibariyle daha az kirletici olan veya birincil yollarla kontrol edilebilen ergitergitme teknikleri, genellikle ikincil önlemlere dayanan tekniklere tercih edilir. Bununla birlikte, ekonomik ve teknik uygulanabilirlik dikkate alınmalı ve nihai seçim, bunlar arasında iyi bir denge sağlanarak yapılmalıdır.

Çeşitli ergitergitme tekniklerinin çevresel performansı, üretilen cam türüne, işletim yöntemine ve tasarıma bağlı olarak büyük farklılıklar gösterecektir. Örneğin, nitrat eklenmiş ve çalışma ömrünün sonuna yaklaşan bir reküperatif TV camı fırınından çıkan emisyonlar (ikincil önlemlerden önce) ile; optimize edilmiş geometri, formülasyon ve ateşlemeye sahip, yeni inşa edilmiş bir reküperatif kesintisiz elyaf fırınından kaynaklanan emisyonlar benzer olmayacaktır. Farklı sektörlerdeki özel ürün kalitesi gereksinimleri de bir fırının çevresel performansını etkileyebilir. Bu faktörler, çeşitli ergitergitme teknikleri arasında doğrudan bir nicel karşılaştırmayı zor ve düşük faydalı kılar. Aşağıdaki kısımlar, yalnızca 2. Bölümde açıklanan tekniklerin her biri için en önemli çevresel hususları özetlemektedir. Farklı türlerdeki fırınların ürettiği emisyonlardaki farklılıklar, uygun olduğu yerlerde bu bölümün maddeye özel bölümlerinde ele alınmaktadır.

Elektrikli ergitergitme, teknolojide kökten bir değişimi temsil eden, doğrudan emisyonları ciddi düzeyde etkileyen bir teknik olması bakımından, ilerleyen kısımlarda açıklanan diğer tekniklerden farklıdır. Elektrikli ergitergitme, MET'in belirlenmesinde değerlendirilebilecek spesifik tekniklerden biri olarak sunulmuştur. Ancak, tüm emisyonlar üzerinde etkili olması nedeniyle, bu bölümdeki madde bazlı yaklaşıma uygun gelmediğinden, bu kısımda ayrı olarak sunulmuştur.

Konvansiyonel yakıt/hava fırınlarından farklı olan ve özellikle azot oksit emisyonları üzerinde çok önemli etkiye sahip olan diğer ergitergitme teknikleri 4.4.2'de ele alınmaktadır. Bu durumun geçerli olduğu oksi-fuel ergitergitme ve özel ergitici tasarımları sırasıyla 4.4.2.5 ve 4.4.2.3 kısımlarında ele alınmıştır.

Kabul edilen ergitergitme tekniği ile ilgili olarak farklı özgül enerji tüketimlerinin bir özeti, fırın tipi ve boyutuna göre sınıflandırılarak, cam ambalaj sektörü için Tablo 3.13 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.

Rejeneratif fırınlar

Bu fırınların enerji verimliliği, daha verimli yakma havası ön ısıtma sistemleri nedeniyle genellikle diğer konvansiyonel fosil yakıt ateşlemeli fırınlara göre daha yüksektir. Ton ergitilen cam başına düşük enerji kullanımı, yanma ile ilişkili kirleticilerin çoğunda azalmayı beraberinde getirir. Öte yandan, yüksek ön ısıtma sıcaklıkları NO_x oluşumunu artırır. Bu fırınlarda, özellikle NO_x için birincil emisyon kontrol tekniklerinin kullanımıyla çok iyi sonuçlar gözlemlenmiştir. İki tip rejeneratif fırın arasında, arkadan ateşlemeli olanlar genellikle daha iyi enerji verimliliğine sahiptir ve daha az emisyonu neden olurlar. Bununla birlikte, yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlarda, erimiş camın kütle akışlarının daha iyi kontrol edilmesinden dolayı, büyük boyutlu fırınlarda bile iyi kalitede bir cam üretimi elde etmek için sıcak nokta konumunu ayarlamak mümkündür.

Yandan ateşlemeli bir fırının değiştirilmesi ancak tamamen yenileme ile mümkün olacaktır. Mevcut alanda böyle bir fırın inşa etmenin mümkün olduğu varsayılırsa, tamamen yenileme ile ilgili ek maliyetler, işleme dair çevresel veya ekonomik faydalardan daha ağır basabilir.

Rejeneratif fırınların yüksek sermaye maliyeti, bunların normalde yalnızca büyük ölçekli cam üretimi (daha küçük fırın örnekleri olmakla beraber, genellikle günde 100 ton üzeri) için ekonomik olarak uygun olduğu anlamına gelir. Günde 500 tonun üzerindeki üretimler için genellikle fırın uzunluğu boyunca iyi düzeyde ısı kontrolü sağlamak amacıyla yandan ateşlemeli fırınlar kullanılır.

Rekuperatif fırınlar

Bu fırınlar, rejeneratif fırınlardan daha az enerji verimlidir, ancak yine de rekuperatör sistemi aracılığıyla önemli miktarda ısının geri kazanımını sağlar. Elektrikli destekleme, atık ısı kazanları, gaz ön ısıtma ve harman/kırıntı ön ısıtma gibi ilave teknikler kullanılarak enerji verimliliği daha da iyileştirilebilir. Ön ısıtma sıcaklıkları rejeneratif fırınlara göre daha düşüktür ve birincil NO_x kontrolleri ile iyi sonuçlar elde edilebilir. Genel olarak derişimlerle (mg/Nm^3) ifade edilen NO_x emisyonları, rekuperatif fırınlar için daha düşük değerler gösterse de (bkz. Tablo 3.15'teki ortalama değerler), rejeneratif ve rekuperatif fırınların $\text{kg NO}_x/\text{ton cam}$ cinsinden ifade edilen özgül emisyonları, özel tasarım rekuperatif fırınlar (LoNO_x fırın) hariç kıyaslanabilir niteliktedir.

Kombine fosil yakıt ve elektrikli ergitergitme

Bu tekniğin kullanılmasında iki temel yaklaşım vardır; bunlar, elektrikle desteklenen fosil yakıtlı ateşleme veya fosil yakıtla desteklenen elektrikli ısıtmadır. Pek çok fırında elektrik desteği bulunmaktadır ve toplam enerji girdisine % 2 - 20 oranında katkıda bulunabilir. Genel olarak cam ambalaj ve yüzdürme cam fırınlarında, elektrik maliyeti nedeniyle elektrik desteği oldukça sınırlıdır (< %5). Elektrikli destekleme, belirli bir ergitergitme hızı için yakmanın elektrikli ısıtma ile desteklenmesi yoluyla fırından doğrudan emisyonları azaltacaktır. Aşağıdaki 4.2.1 kısmında da ele alındığı gibi, daha bütünsel bir bakış açısı benimsenmesi halinde, tesiste elde edilen azaltımlar elektrik üretimi ile ilişkili emisyonlarla birlikte dikkate alınmalıdır.

Elektrikli destekleme, ilişkili yüksek maliyetlerden dolayı, temel seviye üretim için genellikle uygulanabilir, uzun vadeli bir emisyon azaltma seçeneği değildir. Kullanımı ekonomik ve teknik hususlara bağlı olan, işletimsel bir araçtır. Elektrikle destekleme, erimeyi iyileştirmek ve emisyonları azaltmak için düşük NO_x 'li brülörler gibi tekniklerle birlikte kullanılabilir, ancak maliyeti tek başına kullanımı için uygun değildir. Elektrikle destekleme, fırın içindeki konvektif akımları iyileştirmek için de kullanılabilir, böylece ısı transferine katkı sağlar ve birincil afinyasyon işlemine yardımcı olabilir. Bununla birlikte, elektrikle desteklemenin genel çevresel faydalarının değerlendirilmesi, elektrik santralindeki elektrik üretiminin verimliliğini hesaba katmalıdır.

Ağırlıklı olarak elektrikle ısıtılan bir fırında fosil yakıtın üst yakımı, çok daha az kullanılan bir tekniktir. Bu şekilde, bir takım teknik ve ekonomik sınırlamaların üstesinden gelinerek, elektrikli ergitergitmenin pek çok çevresel faydası gerçekleştirilebilir. Brülör kullanımı hammaddelerin erime hızını artırır. Doğal olarak, yakıtın yanmasıyla ilişkili emisyonlar ortaya çıkacak ve bunlar ısı tedarikinin oranına bağlı olacaktır. Bu bölümde ele alınan emisyon azaltma tekniklerinin çoğu, düşük NO_x'li brülörler ve oksijenli ergitergitme de dâhil olmak üzere, bu fırınlarda uygulanabilir.

Kesintili harman ergitergitme

Düşük hacimli sürekli olmayan ergitergitme için alışıldık olarak kullanılan teknik pota ocağıdır, ancak günlük tanklar ve Flex[®] ergitici gibi diğer teknikler giderek yaygınlaşmaktadır. Tekniğin seçimi genellikle tesisin özellikle üretim ölçeği gibi lojistik özelliklerine, üretilen farklı formülasyonların sayısına ve müşteri gereksinimlerine bağlı olacaktır. Bu bölümde açıklanan birincil önlemler tedbirlerinin çoğu, bu fırınlar için az çok uygulanabilir olacaktır. En etkili teknikler, muhtemelen harman formülasyonlarının ve yakma tekniklerinin optimizasyonu olacaktır. Pota ocaklarının tasarımı nedeniyle, teknikler genellikle günlük tanklar ve yarı sürekli fırınlar için daha iyi sonuçlar verecektir. Günlük tankların veya sürekli/yarı sürekli ergitergitmenin uygulanabilir olduğu durumlarda, genellikle daha iyi enerji verimliliği ve daha düşük emisyonlar elde edilecektir.

Taş yünü ergitergitme

Taş yünü ergitergitmede en yaygın olarak kullanılan teknik, elektrikli ergitergitme ve gazla çalışan fırın örnekleri de olmasına rağmen, sıcak havalı kupol ocağıdır. Bazı durumlarda, bu diğer seçenekler, tekniklerin uzun vadeli uygulanabilirliğini incelemek üzere tam ölçekli gelişim tesisleri olarak tasarlanmış veya özel yerel koşullar nedeniyle tercih edilmiştir. Sıcak havalı kupol bir takım işletimsel avantajlara sahiptir ve sektörde tercih edilen tekniktir. Alternatifler ya önemli çevresel avantajlara sahip değildir, ya da daha geniş uygulama için teknik ve ekonomik uygunlukları kanıtlanmamıştır.

4.2.1 Elektrikli ergitergitme

Açıklama

Bu teknik 2.3.4'te açıklanmıştır, çünkü birçok sektörde sıkça kullanılan, temel bir ergitergitme tekniğidir. Elektrikli ergitergitme, kirletici emisyonları üzerinde önemli etkilere sahiptir ve bu nedenle bu bölümde bir 'birincil' azaltma tedbiri olarak ele alınmaktadır.

Elde edilen çevresel faydalar

Fırında fosil yakıtların devreden çıkarılması, kurulum düzeyinde yanma ürünlerinin; yani, kükürt oksitleri (fuel oil kullanıldığında), termal NO_x ve karbon dioksit (CO₂) oluşumunu ortadan kaldırır (ancak elektrik üretimi hesaba katılmalıdır). Geri kalan emisyonlar, partikül taşınmasından ve harman gereçlerinin ayrışmasından (özellikle karbonatlardan CO₂, nitratlardan NO_x ve sülfatlardan SO_x) kaynaklanır. Elektrikli ergitergitmenin uygulandığı çoğu durumda, harman bileşiminde sülfat kullanımı diğer arıtıcı ve oksitleyici maddelerin kullanımı daha yaygın olduğu için (örneğin nitratlar) oldukça düşüktür.

Hammaddelerde bulunmaları halinde düşük seviyelerde hidrojen florür (HF) gibi halojenür veya metal emisyonları da olabilir. Fakat ilave florürlü formülasyonlardan kaynaklanan emisyonlar önemli düzeyde olabilir. Harmanın tüm uçucu bileşenlerinin emisyonu, azaltılmış gaz akışı ve gaz emisyonlarının genellikle eriyiğin tüm yüzeyini kaplayan harman örtüsüne soğutulması, yoğunlaşması ve reaksiyonu nedeniyle konvansiyonel fırınlara göre önemli ölçüde daha düşüktür.

Çoğunlukla fırınların bir tarafı açıktır ve gazlı emisyonlar ve eriyikten gelen ısı, kayda değer düzeyde hava akımına neden olur. Toz, gaz ve ısının çalışma alanına girmeden uzaklaşmasını sağlamak için genellikle bir çeşit havalandırma gereklidir. Bu, doğal havalandırma veya ekstraksiyonla elde edilir. Doğal havalandırmayla salınan atık gaz çok düşük hacimli olacaktır, ancak yüksek toz derişimine ve zayıf dispersiyon özelliklerine sahip olabilir. Toz emisyonları, söz konusu düşük hacimler nedeniyle genellikle bir torba filtreden oluşan bir toz azaltma sistemine çekilerek (ekstraksiyon) kontrol edilebilir. Bu düzenleme, toz emisyonlarının çok düşük olmasını sağlar ve ayrıca gerekli olması halinde kuru yıkama

ile HF emisyonlarını arıtma olanağı sağlar. 4.4.1.3 ve 4.4.3 sayılı kısımlara bakınız.

Elde edilen gerçek emisyonlar, büyük ölçüde harman formülasyonuna bağlı olacaktır ve düşük atık gaz akışları nedeniyle, emisyon derişimlerinin karşılaştırılması yanıltıcı olabilir. Bununla birlikte, genel anlamda doğrudan emisyonlar, benzer ergitergitme hızına sahip bir konvansiyonel hava-yakıt ateşlemeli bir fırına kıyasla 10'da bir veya 100'de bir olarak gerçekleşir. Bazı gerçek nicel veriler, mineral yün tesisleri için 3.8.2.2'de ve bu belgede sunulan örnek tesislerde verilmektedir.

Ortamlar arası etkiler

Fırından doğrudan emisyonlar, elektrikli ergitergitme kullanılarak büyük ölçüde azaltılır ve termal verimlilik oldukça yüksektir. Ancak, tekniğin genel çevresel performansı dikkate alındığında, enerji üretiminin çevresel etkisi çoğu avantajı ortadan kaldırabilir. Bu belge kapsamında tam bir niceliksel analiz yapılması mümkün değildir. Elektrik üretimi ile ilgili çevresel sorunlar oldukça karmaşıktır ve AB genelinde, hatta bazen tesisler arasında, büyük farklılıklar mevcuttur.

Elektrik; ulusal kaynaklardan, yerel veya özel bir kaynaktan sağlanabilir ve tedariğin hem maliyet hem de verimi bundan etkilenebilir. Elektrik ulusal şebeke ağından alınması durumunda, olası kaynak yelpazesi geniştir. Kömür, petrol, gaz, nükleer, hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin her biri ile ilişkili çok çeşitli çevresel sorunlar mevcuttur.

Elektrik üretiminin verimliliği göz önüne alındığında (birincil enerji), elektrikle ergitergitme ile fosil yakıt ergitergitme arasındaki termal verimlilik farkı da azalmaktadır.

Termal verimlilik büyük ölçüde elektrik kaynağına bağlı olsa da, geleneksel fosil yakıtla çalışan bir elektrik santralinin birincil yakıttan elektriğin kullanımına kadar olan verimliliği % 30-35 civarındadır. Kombine çevrim gaz türbin tesisi için bu değer % 50'ye yakın olacaktır.

Elektrik enerjisi üretimiyle ilişkili dolaylı CO₂ ve NO_x emisyonları, günde 20 ton kurşunsuz kristal cam üreten küçük bir fırın için tahmin edilmiştir. Bu durum özelinde, fosil yakıtlı ergitergitme fırınından elektrikli fırına geçilerek NO_x emisyonunda elde edilen yılda 14 tonluk azaltma, elektrik üretimi yoluyla açığa çıkan yılda 15-16 ton dolaylı NO_x ve yılda 6300 ton dolaylı CO₂ salınımının gerisinde kalmaktadır. Bu her durum için geçerli değildir; kurşun kristal cam için, net NO_x ve CO₂ emisyonları (dolaylı + doğrudan emisyonlar) elektrikli fırınlarda fosil yakıtla çalışan fırınlara göre biraz daha düşüktür, ancak aradaki fark küçük sayılabilir. [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008]

Teknikle ilişkili düşük atık gaz hacimleri, herhangi bir ilave azaltma ekipmanının maliyetini büyük ölçüde azaltır, toplanan düşük toz hacmi ise kolayca geri dönüştürülebilir. Düşük seviyedeki uçucu kayıpları da daha az hammadde tüketilmesini sağlayarak, hem emisyonları hem de maliyetleri azaltır. Bu durum, özellikle kurşun oksitler, florürler, arsenik bileşikler, boraks vb. gibi daha pahalı ve/veya toksik bileşenlerin kullanımı açısından avantajlıdır.

İşletim verileri

Genel olarak, elektrikli ergitergitme, özellikle harman formülasyonlarının uçucu bileşenler içerdiği özel camlar söz konusu olduğunda, oldukça homojen ve yüksek kaliteli bir cam üretir. Bu durum, bazı cam ev eşyaları ve özel cam uygulamalarında elektrikli ergitergitmenin tercih edilmesinin temel nedenlerinden olabilir.

Bununla birlikte, soğuk başlıklı elektrikli fırınlar, konvansiyonel fırınlara göre daha küçük bir çalışma tonajı ‘penceresine’ sahiptir. Örneğin, günde 40 ton kapasiteli bir soğuk başlıklı elektrikli fırının tipik olarak iyi çalışma kapasitesi 36 – 44 ton/gün arasındır. Belirli bir makine üretim hızı için daha düşük bir tonaj gerektiğinde, elektrikli fırınların kontrolü zorlaşır ve yüksek ergitergitme hızının korunması gerekir (yandan tahliye); bu da üretim için gerekenden daha fazla camın ergitildiği ve üretimin maliyetlerinin daha yüksek olması anlamına gelir. Buna karşılık, 40 ton/gün kapasiteli bir konvansiyonel fırın, gerekirse çok az sorunla 25 – 30 ton/gün kapasitesinde çalışabilir.

Cam sanayiinde geleneksel görüş, kararlı, güvenli ve verimli bir üretim süreci için gerekli oksitleme koşullarının sağlanmasında soğuk başlıklı elektrikli fırınlarda sodyum nitrat veya potasyum nitratin gerekli olduğudur. Nitratların kullanımı NO_x emisyonlarını doğrudan etkiler ve tüm uygulamalarda olmasa da, elektrikle ergitergitmenin bazı çevresel faydalarını azaltabilir. Nitratların oksitleyici olarak kullanılması, organik bileşikler içeren atık malzemelerin ergiticiye geri dönüştürüldüğü durumlarda daha önemli hale gelir. Yüksek miktarda dış kırıntı (veya diğer geri dönüştürülmüş malzemelerin) kullanılması bazen koku sorunlarına neden olabilir.

Elektrikli ergitergitme kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2: Elektrikli ergitergitmenin başlıca avantaj ve dezavantajları

Avantajlar:

- Çok az miktarda doğrudan emisyon
- Fırının her bir m^2 alanı için potansiyel ergitergitme hızı artışı
- Artan doğrudan enerji verimliliği
- Bazı durumlarda daha düşük hammadde maliyetleri
- Bazı durumlarda elektrikli ergitergitme daha kaliteli ve homojen bir cam verir
- Azaltılmış sermaye maliyeti ve fırın alanı gereksinimleri Potansiyel olarak daha kolay işletim

Dezavantajlar

- Yüksek işletim maliyeti
- Daha kısa işletim süresi
- Güncel olarak çok büyük ölçekli cam üretimi için teknik ve ekonomik olarak uygun değil
- Daha az esnek ve yüksek kaliteli camlar için ergitergitmede büyük değişimlere adapte değil
- Elektrik üretimiyle ilişkili çevresel etkiler

Cam ev eşyası, özellikle kristal ve kurşun kristal üretimi için örnek bir tesis Tablo 4.3'te sunulmuştur.

Tablo 4.3: Cam ev eşyası sektöründe (kristal ve kurşun kristal cam) elektrikli ergitme uygulaması için örnek tesis

İşletim koşulları		
	Fırın 1	Fırın 2
Fırın tipi	Soğuk başlıklı elektrikli fırın	Soğuk başlıklı elektrikli fırın
Fırın yaşı	4 yıl	7 yıl
Kapasite	27 ton/gün	15 ton/gün (magnezyum kristal cam) 20 ton/gün (kurşun kristal cam)
Ortalama üretim	25 ton/gün (2006)	15,8 ton/gün (2005)
Cam türü	Kurşun kristal cam	Magnezyum kristal cam, kurşun kristal
Kırık	Yalnızca iç kırık	Yalnızca iç kırık
Filtre tozu kullanımı	Evet	Evet
	Erime: 4,32 GJ/t erimiş cam	Erime: 7,20 GJ/t erimiş cam
Özgül enerji tüketimi (1)	Toplam: 7,70 GJ/t erimiş cam; 15,4 GJ/t bitmiş ürün	Toplam: 10,58 GJ/t erimiş cam; 21,16 GJ/t bitmiş ürün
Baca gazı hacmi ⁽²⁾	15000 - 20000 Nm ³ /saat (işletim O ₂ içeriği koşullarında kuru gaz)	15000 - 20000 Nm ³ /saat (işletim O ₂ içeriği koşullarında kuru gaz)
İlişkili emisyon seviyeleri ⁽³⁾		
Partikül madde ⁽⁴⁾	2,8 mg/Nm ³	
NO _x (harmandaki nitratlar) ⁽⁵⁾	420 - 560 mg/Nm ³ (8,1 kg/t)	340 - 460 mg/Nm ³ (10.4 kg/t)
SO ₂ ⁽⁵⁾	Harman bileşiminde kükürt bulunmadığından ilgili değil	
HCl ⁽⁵⁾	<3 mg/Nm ³	
HF ⁽⁵⁾	<1 mg/Nm ³	
Sb ⁽⁵⁾	Gazlı <0,01 mg/Nm ³ . Partikül <0.01 mg/Nm ³	
Pb ⁽⁵⁾	Gazlı <0,01 mg/Nm ³ (algılama sınırının altında) Partikül 0,04 mg/Nm ³	
⁽¹⁾ Belirtilen değerler, kullanım noktasındaki enerjiye atıfta bulunur ve birincil enerjiye göre düzeltilmemiştir. ⁽²⁾ Yüksek baca gazı hacmi, çıkartılan hava hacminin azami düzeyde olmasından kaynaklanmaktadır. ⁽³⁾ Uygulanan azaltım tedbirleri/teknikleri: her fırın için torbalı filtre; sıcak cam işlemesinden (kurşunun buharlaşması) çıkan dumanların çıkarılması. ⁽⁴⁾ Üç yarım saatlik sürekli ölçümün ortalaması. ⁽⁵⁾ İki yılda bir tek ölçüm (yarım saatlik ortalama değerler) Kaynak: [110, Avusturya, Cam ev eşyası tesisleri 2007]		

Uygulanabilirlik

Cam sanayiinin birçok alanında uygulanabilen elektrikli ergitme, yüksek sıcaklık yalıtım yünü, mineral yün, özel cam, cam ev eşyaları ve bir düzeye kadar cam ambalaj dâhil olmak üzere pek çok sektörde kullanılmaktadır. Elektrikli ergitme doğal olarak yalnızca fırının yenilenmesi esnasında kurulabilir. Düz cam veya frit sektörlerinde, bilinen tam ölçekli elektrikli ergitme örnekleri yoktur. Teknik, uçuculuk potansiyeli yüksek, kirletici camların (örn. kurşunlu kristal ve opal cam) ve yüksek katma değerli ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tekniğin daha geniş ölçekli kullanımı, işletme maliyetleri ve bazı teknik hususlar dolayısıyla sınırlıdır. Yukarıda tartışıldığı gibi, en önemli kısıtlama işletim maliyetinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, bir dizi diğer faktörle beraber ekonomik uygulanabilirlikte boyut üst limitini belirler.

Belgenin yazıldığı tarihlerde (2010), bu teknik büyük hacimli (günde >300 ton) cam üretiminde kullanılmamaktadır ve bu nedenle teknik veya ekonomik açıdan tam olarak kanıtlanmış olarak kabul edilmemektedir. Kesintisiz cam elyafı üretimine elektrik ergitme uygulamasının şu anda ekonomik veya teknik olarak uygun olduğu düşünülmemektedir, çünkü bu tür ürünler için sıklıkla kullanılan E-camın düşük alkali içeriği, çok düşük elektrik iletkenliğine neden olmaktadır.

Birleşik Krallık'ta elektrikle ısıtılan bir fırına sahip bir deneysel yüzdürme cam hattı 1989'dan 2000'e kadar faaliyet gösterdi. Bu tesis, düz cam üretimi için soğuk başlıklı elektrikli ergitme prensibini göstermek amacıyla inşa edilmiştir. Tesis, bu pilot ölçekte başarılı bir şekilde işletilmiş ve bazı egzotik camların üretimi için kullanılmıştır; bu tür bir üretim alışıldık yollarla ateşlenen bir fırınla gerçekleştirildiğinde emisyonların kontrol altına alınması son derece zor olacaktır. Uygulama, tamamen elektrikli bir fırınla tam ölçekli bir düz cam hattının (günde >500 ton) çalıştırılmasının, yüksek işletme maliyetleri nedeniyle şu anda ekonomik olarak uygun olmadığını göstermiştir. Fırın artık çalışmamaktadır.

Ekonomi

Elektrikli ergitme tesislerinin ekonomik uygulanabilirliği, temel olarak elektrik ve fosil yakıtlar arasındaki fiyat farkına bağlıdır. Belgenin yazıldığı dönemde (2010) birim enerji için ortalama elektrik maliyeti, fuel oil maliyetinin 4 ila 5 katıdır. Elektrik maliyetleri Üye Devletler arasında % 100'e kadar varan oransal farklılıklar gösterebilir, ancak fosil yakıt fiyatları genellikle daha az değişmektedir. Yakıt fiyatları ve fiyat farkları 4.4.3.1'de ele alınmaktadır. Elektrikli fırınların termal verimliliği oldukça iyidir ve genel olarak hava yakıtlı fırınlara göre 2 ila 4 kat daha yüksektir. Büyük boyutlu enerji verimli fırınlar için verim karşılaştırması verilen aralığın alt ucuna, daha küçük fırınlar için ise üst ucuna daha yakındır.

Elektrikli fırınlar, konvansiyonel fırınlara göre çok daha düşük sermaye maliyetlerine sahiptir ve yıllık bazda bakıldığında, yüksek işletme maliyetlerini kısmen telafi etmektedir. Bununla birlikte, fırınların yenileme veya onarım gerektirmeksizin çalışma süreleri daha kısadır; konvansiyonel fırınlar için 10 ila 20 olan bu süre, bu fırınlar için 2 ila 7 yıldır. 10 ila 50 ton/gün aralığında, hava-yakıtlı fırınlarda daha yüksek olan özgül ısı kayıpları nedeniyle, elektrikli fırın daha rekabetçi olabilir.

Özellikle bütün elektrikli fırınları rejeneratif, reküperatif ve oksijen yakıtlı fırınlara karşılaştırırken, bir takım parametreler nedeniyle (konum, enerji kaynağı çeşitleri ve fiyat farkları, fırın kapasitesi, üretim esnekliği, fırın kullanım ömrü, elde edilecek cam kalitesi, proses kararlılığı vb.) bütün fiyat kıyaslamalarının durum bazında yapılması gerekir; bu nedenle elektrikli ergitme tesislerinin fosil yakıtlı ergitmeye göre fiyatları üzerinden genel sonuçlara varmak mümkün değildir.

Örnek olarak, sofrta takımı/kristal cam sektöründeki yaklaşık 30 ton/gün kapasiteli tamamen elektrikli bir ergitme fırını ile bir reküperatif ergitici ünite fırını arasındaki karşılaştırma, elektrikli fırının daha kısa kullanım ömrü ancak daha düşük işletme maliyetleri (350000 EUR daha az) dikkate alındığında, yaklaşık 3 milyon Avro'ya denk gelen daha yüksek bir yatırım maliyeti gerektirdiğini göstermektedir. Bu özel durumda, ton erimiş cam başına bildirilen maliyetler biraz daha düşüktür. Aşağıdakiler, mevcut uygulamalar temel alınarak uygun (potansiyel olarak uygulanabilir bir alternatif teşkil eden) olabilecek fırınların boyutları konusunda oldukça genel, gösterge niteliğinde bir kılavuz olarak önerilmektedir; doğal olarak yerel koşullar sebebiyle istisnaların olması kaçınılmazdır.

- Günlük 75 tonun altındaki fırınlar genellikle uygundur.
- Günlük 75 - 150 aralığındaki fırınlar bazı durumlarda uygun olabilir.
- Günde 150 tonun üzerindeki fırınların uygun olma ihtimali genellikle düşüktür.

Finansal hususlar, tesise özgü faktörlerden önemli derecede etkilenebilir. Bunlardan bazıları güncel enerji maliyetleri, ürün kalitesine dair gereksinimler, kullanılabilir alan, alternatif azaltma tedbirlerinin maliyetleri, yürürlükteki mevzuat, işletim kolaylığı ve alternatif fırınların beklenen çalışma ömrüdür.

Fosil yakıtlar ile elektrik arasındaki fiyat farkının verilen aralığın üst ucunda olduğu Üye Devletlerde, elektrikli ergitme seçeneği pek cazip görünmeyebilir. Bu gibi durumlar, işletmecinin elektrikli ergitme yerine diğer tekniklerin bir kombinasyonunu tercih etmesine yol açabilir.

Elektrikli fırınlar kullanıldığında, ergitme işlemiyle ilişkili CO₂ emisyonları düşüktür, çünkü bunlar yalnızca harman bileşiminden kaynaklanır. İlgili işletme maliyetleri, fırın emisyonlarını karşılamak için gereken CO₂ emisyon tahsisatlarının maliyetinden pek etkilenmeyecektir (sera gazı emisyonları için bir Emisyon Ticaret Planı oluşturan 2003/87/AK ve 2009/29/AK sayılı Avrupa Direktifleri); bununla birlikte, jeneratörün EU-ETS maliyeti olmamasının elektrik maliyeti üzerinde dolaylı etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrikli fırınların daha ‘karbon’ verimli olarak kabul edilip edilemeyeceği, elektrik kaynağına bağlı olacaktır.

Özel borosilikat cam üretimine uygulanan elektrikli ergitme tekniği ile ilgili maliyetlerin gösterildiği örnek bir tesis Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Özel cam sektöründe elektrikli ergitme uygulaması için örnek tesis

İşletim koşulları	Fırın 1	Fırın 2		
Fırın tipi	Elektrikli fırın	Elektrikli fırın		
Planlanan işletim süresi	60 ay	60 ay		
Maks. tavan sıcaklığı	230 °C	230 °C		
Kapasite	38 ton/gün	48 ton/gün		
Mevcut ergitertitme hızı	35 ton/gün	45 ton/gün		
Cam türü	Borosilikat, beyaz	Borosilikat, beyaz		
Kırık	% 70	% 70		
Özgül enerji tüketimi (1)	4.45 GJ/t cam	3.91 GJ/t cam		
Filtre tozu kullanımı	Hayır	Hayır		
Hava kirliliği kontrol sistemi ve ilgili maliyetler ⁽²⁾		Fırın 1 ve Fırın 2		
Filtre tipi (iki ayrı filtre)		Torbalı filtre		
Filtreden önceki sıcaklık		80°C		
Emici		Ca(OH) ₂		
Emici miktarı		3 (kg/s)		
Filtre tozu		Atık sahasına		
Havalandırıcı dâhil enerji tüketimi		20 (kW/s)		
Yatırım/değiştirme maliyetleri (torbalı filtre, fan, kanallar)		440000 EURO		
Amortisman süresi		10 yıl		
İşletme maliyetleri		50000 EURO		
Yıllık amortisman maliyetleri		58520 EURO		
Yıllık maliyetler toplamı		108520 EURO		
Ton cam başına tahmini maliyetler		3,71 EUR/ton cam		
İlişkili emisyon seviyeleri				
	Fırın 1		Fırın 2	
	mg/Nm ³ ⁽³⁾	kg/t cam	mg/Nm ³ ⁽³⁾	kg/t cam
Partikül madde	1.2	0,0017	0,8	0,0008
NO _x ⁽⁴⁾	72	0,39	103	0,29
SO ₂	0,7	0,0037	4,7	0,013
HCl	5,1	0,028	22,0	0,061

(1) Belirtilen değerler, kullanım noktasındaki enerjiye atıfta bulunur ve birincil enerjiye göre düzeltilmemiştir.

(2) Maliyet verileri, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir.

(3) Derişimler ölçülen oksijen içeriğini referans alır.

(4) NO_x emisyonları, harman formülasyonunda nitratların kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]

Uygulamanın itici gücü

Bir elektrikli fırının termal verimliliği, eşdeğer konvansiyonel fırına göre daha iyidir. Atık gaz hacimleri çok düşüktür (yalnızca harman ayrışmasından kaynaklanan gazlar). Karbon bazlı olmayan bir enerji politikası çerçevesinde elektrik kullanımı yerel bazda tercih edilebilir.

Örnek tesisler

Schott, Mainz, Almanya – Özel Cam.

British Gypsum Isover Ltd, Runcorn, Birleşik Krallık - Cam Yünü.

SGD, Mers-les-Bains, Fransa – Cam Ambalaj (flakon)

Bormioli Luigi, Parma, İtalya – Cam Ev Eşyaları

Bormioli Rocco e Figlio, Bergantino, İtalya – Borosilikat cam ambalaj (flakon).

Referans literatür

[65, Glass for Europe-GLS revizyonu için Teklifler 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008]

4.2.2 Fırınların işletilmesi ve bakımı

Açıklama

ErgitErgitme fırınının işletimi ve bakımı, cam fırınının eskimesinden kaynaklanan çevresel etkiyi en aza indirmede birincil tekniktir. Bu teknik normalde rejeneratif uzun ömürlü fırınlara uygulanır, ancak bu tavsiyelerden bazıları diğer fırınlara da uygulanabilir.

Konvansiyonel cam ergitergitme fırınları (yakıtlı çalışan fırınlar) uzun süre çalışabilir ve bu süre daha da artma eğilimi göstermektedir; ortalama 12 yıl olup pek çok durumda 18 yıla kadar varmaktadır. Fırın ömrü boyunca refrakter aşınma ve eskime ile refrakter yapının hareketleri (genleşme ve büzülme) meydana gelir; bunun sonucunda fırın üstyapısında çatlaklar ile birlikte ısı ve enerji verimliliği kayıpları gözlemlenebilir. Çatlaklar parazit havanın sızmasına neden olabilir (örn. fırın basıncına bağlı olarak).

Bu nedenle, eskime etkilerinin en aza indirilmesi, çalışma koşullarının ve parametrelerinin optimize edilmesi için gerekli bakımların yapılmasını sağlamak üzere fırının sürekli olarak denetlenmesi ve izlenmesi çok önemlidir. Refrakter bakımı için en önemli işlemler şunlardır:

- parazit hava sızıntılarını önlemek için fırın ve rejeneratör duvarlarının her zaman sızdırmazlığını sağlamak;
- kullanılmadığında tüm fırın açıklıklarını (örn. gözetleme delikleri, sondaları izlemek için diğer delikler, port ve brülör tuğlaları) kapatmak ve/veya mühürlemek;
- rejeneratif fırınlarda ısı aktarımını iyileştirmek, gerektiğinde tuğlaları temizlemek ve reküperatif fırınlarda ısı eşanjörlerinin yeterli bakımını sağlamak;
- mevcut fırın durumu için mümkün olan azami yalıtımı korumak.

Fırın işlemleri ile ilgili olarak, üretim sürecine ve kullanılan birincil tekniklere bağlı olarak, aşağıdaki ayarlamalar yapılarak belirlenen parametreler sabit tutulmalıdır, örneğin:

- brülörlerin konumlandırılması ve brülör tuğlalarıyla sızdırmazlıklarının sağlanması;
- kararlı alev koşullarının kontrol edilmesi, örneğin uzunluk, parlaklık ve sıcaklık dağılımı;
- hava/yakıt oranının kontrolü.

Fırın izleme ve kontrolü, en iyi sonuçların elde edilmesi için esastır. Kullanılan ekipman için yeterli bir bakım programı oluşturulmalıdır.

Elde edilen çevresel faydalar

Bu tekniğin en önemli faydaları, enerji tüketimi ve NO_x emisyonlarının azaltılmasıdır. Diğer bir fayda, brülörlerin daha iyi konumlandırılması ve daha iyi alev koşulları sayesinde taşınım ile beraber toz emisyonlarının azaltılması olabilir.

Bakımı iyi yapılmış bir fırında eskime, yalıtım ve ısı alışverişinde verimliliğin nedeniyle, rejeneratif fırınlar için tahminen yıllık % 1,5 ila 3 arasında bir enerji tüketimi artışına neden olur. Kötü bakım, bu tüketimleri önemli ölçüde artırabilir.

Parazitik hava sızmaları, bu havanın önceden ısıtılmaması ve ayrıca yanma koşullarında yarattığı değişiklik nedeniyle enerji verimliliğini azaltır. Ayrıca hava ile birlikte fırına giren ilave azot da NO_x üretimini kontrolsüz bir şekilde artırmaktadır. Oksi yakıtlı fırınlarda, fırının zayıf mühürlenmesinden ve/veya brülör bloklarından kaynaklanan, NO_x oluşumuna neden olacak hava sızmalarını önlemek için özel dikkat gösterilmelidir.

NO_x emisyonlarının ve enerji tüketiminin azaltılmasına ek olarak, bu teknik, erime kararlılığını artıracabileceğinden, üretkenliği ve cam kalitesini iyileştirebilir. Bu iyileştirmelerin değerlendirilmesine dair bilgi henüz mevcut değildir.

Genel olarak, bakımlı bir fırında tüm bileşenlerin (örn. fırın tavanı, çitler, rejeneratör tavanı, rejeneratör dolgusu) kullanım ömrü uzar.

Ortamlar arası etkiler

Refrakter malzemeler ve/veya metallerle bulaşık olabilecek tuğlaların temizlenmesinden katı atık akışı üretilir. Bu durumda toz (esas olarak sodyum sülfat) ergitergitme fırınına geri dönüştürülemez ve katı atık bertaraf edilmelidir.

Hava/yakıt oranını kontrol etmek için tedbirlerin uygulanması, rejeneratörlerde önemli CO derişimlerinin varlığına neden olabilir. Stokiyometrik oranın altında hava ile yanma ve çok indirgeyici baca gazları (yüksek CO derişim değerlerinden anlaşılır) rejeneratörlerde agresif tuzların bırakımına ve yoğunlaşmasına neden olabilir; tuğlaların refrakter malzemesi bundan hasar görebilir ve bunun sonucunda fırının işletim ömrü kısalabilir.

İşletim verileri

Fırın parametrelerinin izlenmesi ve tüm fırın deliklerinin kapatılması fırın işletiminin iyi uygulamalarına dâhil edilmelidir. İzleme programı fırına (örn. tip, boyut, yaş, aşınma, tuğla tipi), eriyen ve üretilen cam tipine, kullanılan yakıt tipi (petrol veya gaz) vb. bağlı olacaktır.

Örnek olarak, bir izleme programı aşağıdaki gibi olabilir:

- parazit hava girişleri için (delikler, yarıklar): günlük görsel muayene ve gerektiğinde eylem (kapatma);
- rejeneratörler için: tesis operatörleri tarafından düzenli olarak yapılacak görsel denetimler; gerektiğinde tuğlaların temizlenmesi.

Uygulanabilirlik

Bu teknik, mevcut veya yeni fırınların kullanım ömrü boyunca uygulanabilir. Oksi yakıtlı fırınların tümüyle reküperatif ve rejeneratif fırınlar için daha kullanışlıdır. Diğer fırınlar için de düşünülebilir, ancak her durum kendine özel değerlendirme gerektirir.

Halihazırda birçok modern cam imalat şirketi, uygun fırın bakımı, işletimsel prosedürler ve kontroller sayesinde çevresel faydalar ve enerji tasarrufu elde etmiştir.

Ekonomi

Bu tekniğin uygulanmasıyla ilgili maliyetler, denetim ve bakım için kalifiye personelin eğitimini, kameralar ve sensörler gibi sıcaklık ve oksijen ölçümleri için gerekli ekipmanların satın alınmasını içerir. Sülfat tozu atık sahasına gönderilirse bu ek bir maliyeti beraberinde getirecektir.

Ancak bakım maliyetleri, enerji tasarrufundan, daha kaliteli ürünlerden ve daha yüksek verimlilikten elde edilen faydalarla karşılaştırılmaz.

Elde edilebilir enerji tasarrufları, Emisyon Ticareti Planı (ETS) Direktifi çerçevesinde CO₂ tahsisatlarının maliyetlerinin azalması anlamına gelir.

Uygulamanın itici gücü

Bir fırının kullanım ömrünün sonuna doğru NO_x emisyonlarına dair yasal gerekliliklere uyulması daha zor olabilir. Emisyonların artışını azaltmak yalnızca fırınları olabilecek en iyi durumda tutmakla mümkündür.

Örnek tesisler

Saint-Gobain, Owens-Illinois (O-I), Ardagh Glass gibi çoğu büyük cam ambalaj şirketi bu tekniği fırınlarında uygulamaktadır. Ayrıca düz cam sektöründe çoğu şirket de (örneğin AGC, Pilkington NSG Group, Saint-Gobain) bu tekniği fırınlarında uygulamaktadır.

Referans literatür

[75, Almanya-HVG Cam Endüstrisi raporu 2007] [78, DUTCH Oksi-yanma fırınları 2007]

[79, TNO OxyFiring2005ATIVFinal 2005] [85, İspanyol MET Cam Kılavuzu 2007]

4.3 Malzemelerin depolanması ve taşınması için teknikler

Cam sanayiindeki çeşitlilik, kullanılan hammaddelerin de oldukça çeşitli olmasına yol açmıştır. Bu malzemelerinin çoğu, doğal mineraller veya imal edilen ürünlerden oluşan, katı inorganik bileşiklerdir. Bunlar, kaba malzemelerden ince çekilmiş tozlara kadar çeşitlilik gösterirler. Sıvılar, ve bir dereceye kadar gazlar da çoğu sektörde kullanılmaktadır.

4.3.1 Malzeme depolama teknikleri

Yığın halindeki toz malzemeler genellikle silolarda depolanır ve emisyonlar, torba filtreler gibi uygun toz azaltma ekipmanına hava çıkışı olan kapalı silolar ile en aza indirilebilir. Uygulanabilir olduğunda, toplanan malzeme yeniden siloya koyulabilir veya fırına geri dönüştürülebilir. Kullanılan malzeme miktarının silo kullanımını gerektirmediği durumlarda, ince malzemeler kapalı konteynerlerde veya torbalarda saklanabilir. Kaba ve tozlu malzeme yığınları, rüzgarla taşınan emisyonları önlemek için üzeri örtülerek depolanabilir.

Potansiyel olarak toz ve kaçak emisyon, aynı zamanda ikincil hammaddedeki organik kalıntılardan çıkan kokunun kaynağı olan dış kırıntıların depolanmasına dikkat edilmelidir; bununla birlikte dış kırıntı teslim edilmeden önce uzman şirketler tarafından özel kalite gereksinimlerine uyması amacıyla işleminden geçirilmektedir. Tozun özellikle sorun teşkil ettiği durumlarda, bazı tesislerde sulu söndürme tekniklerinin kullanılması gerekebilir. Uçucu hammaddeler, hava emisyonlarını en aza indireyecek şekilde depolanabilir. Genel olarak, yığın depolama sıcaklıkları mümkün olduğu kadar düşük tutulmalı ve güneş enerjisi ile ısıtma vb. nedenlerle meydana gelen sıcaklık değişimleri dikkate alınmalıdır. Önemli düzeyde buhar basıncına sahip malzemeler veya kokulu maddeler için, tankın hava çıkarmasından veya sıvı transferleri sırasında buharın yer değiştirmesinden kaynaklanan salınımları azaltmaya yönelik özel teknikler gerekli olabilir.

Atmosferik basınçta depolama tanklarından kayıpların azaltılması için uygulanan bazı tedbirler/teknikler şunlardır:

- güneş ışığını daha az soğuran tank boyası kullanımı
- sıcaklık kontrolü
- tank yalıtımı
- envanter yönetimi
- yüzer tavanlı tankların kullanımı
- buhar dönüşü transfer sistemlerinin kullanımı
- diyafram tavanlı tankların kullanımı
- tankların basınç dalgalanmalarına dayanacak şekilde tasarlandığı yerlerde basınç/vakum vanaları kullanımı
- özel bir salınım arıtma işleminin uygulanması, örneğin adsorpsiyon, soğurma, yoğunlaşma,
- yeraltına doldurma.

Difüz/kaçak emisyonları önleyen ve en aza indiren malzeme depolama tekniklerine ilişkin ek bilgiler, Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlara İlişkin Referans Belgede (EFS MET-Ref) [121, AK 2006] bulunabilir (ayrıca bkz. bu MET-Ref'de 3.2.2.1).

4.3.2 Malzeme taşıma teknikleri

Malzemelerin taşınması için kullanılan genel teknikler 2.1'de açıklanmıştır. Malzemelerin taşınmasından kaynaklanan emisyonlarda cam sanayiine özgü sorunların sayısı çok azdır. Bu nedenle, bu kısımda yalnızca bu tür malzemelerle çalışırken genellikle iyi uygulama oluşturduğu düşünülen teknikler özetlenmiştir.

Malzemelerin yer üstü konveyörlerle taşındığı durumlarda, malzeme kaybını önlemek amacıyla rüzgar koruması sağlayan bir tür muhafaza gereklidir. Bu sistemler, konveyörün her yanını kapatacak şekilde tasarlanabilir. Pnömatik taşımanın kullanıldığı yerlerde, salınımdan önce taşıma havasını temizlemek için filtreli ve sızdırmaz bir sistem bulunması önemlidir. Aktarma sırasında meydana gelen tozu ve fırından ince partiküllerin taşınmasını azaltmak için harmanda, genellikle % 0 – 4 olmak üzere su içeriği bulundurulabilir. Bazı süreçlerde (örneğin borosilikat cam üretimi) kuru Harmandaki hammaddeler kullanılır; kuru malzemelerin kullanıldığı yerlerde toz emisyonu potansiyeli daha yüksektir, bu nedenle daha dikkatli olunması gereklidir.

Genel olarak, baca gazı arıtma sistemlerinden gelen toz çok incedir ve önemli miktarlarda, aşındırıcı ve/veya tahriş edici özellikler gösterebilen, reaksiyona girmemiş alkali reaktif içerebilir. Bunun sonucunda, bu malzemenin taşınması ve depolanması ayrıca özen gerektirebilir.

Fırın besleme alanı, toz emisyonlarının yaygın olduğu bir alandır. Bu alandaki emisyonları kontrol etmek için uygulanan ana tedbirler/teknikler aşağıda listelenmiştir:

- Harmanın nemlendirilmesi.
- Fırın içinde hafif negatif basınç uygulanması (yalnızca, başta frit üretimine yönelik ergitergitme fırınları olmak üzere, işletimin kendisine has bir özellik olarak uygulanabilir, bkz. 2.11.2). Fırına soğuk hava girmesine izin vereceği için, negatif basıncın fırın enerji verimliliği üzerinde zararlı bir etkisi olabileceği unutulmamalıdır. Pratikte, genel olarak tüm cam ergitergitme fırınlarına 5 Pa civarında hafif bir pozitif basınç uygulanır.
- Yıpranma etkisine neden olmayan hammaddelerin kullanımı (başlıca dolomit ve kireçtaşı). Bu etki, ısıya maruz kalan minerallerin 'çatırdamasıyla' meydana gelir, toz emisyonu artışına sebep olabilir.
- Bir filtre sistemine gazı ileten ekstraksiyonun sağlanması (soğuk başlıklı ergiticilerde yaygındır).
- Kapalı vidalı besleyicilerin kullanımı
- Besleme ceplerinin muhafazası (soğutma gerekli olabilir).

Toz emisyonları doğrudan atmosfere olabileceği gibi, prosesin gerçekleştirildiği binaların içerisinde de meydana gelebilir. Böyle bir durumda bina içinde toz birikebilir ve bina içinde ve dışındaki hava akımlarının hareketi ile emisyon kaçakları yaşanabilir. Harmanlama tesisleri gibi çok tozlu olabilecek alanlarda, binalar asgari düzeyde açıklık ve kapı bırakacak şekilde tasarlanabilir veya gerektiğinde toz perdeleri sağlanabilir. Fırın binalarında genellikle bir dereceye kadar doğal soğutma gereklidir; bu nedenle havalandırma delikleri vb. sağlanır. Belli bir standartta tesis bakımının sağlanması ve tüm toz kontrol önlemlerinin (sızdırmazlık, ekstraksiyon vb.) düzgün işleyişinin gözetilmesi önemlidir.

Toz oluşumunun muhtemel olduğu proses alanlarında (örn. torba açma, frit harmanlama, torba filtre tozunun bertarafı, vb.), uygun azaltma tesisatına yönlendirilen ekstraksiyon sağlanabilir. Bu, daha fazla manuel işlemin gerçekleştirildiği, küçük tesisler için önemli olabilir. Bahsedilen tekniklerin tümü özellikle, kurşun oksit ve flor bileşikler gibi toksik nitelikteki hammaddelerin işlendiği ve depolandığı yerlere ilişkindir (ayrıca bkz. 3.2.2.1 ve 3. Bölümdeki sektöre özel kısımlar).

Referans literatür

[121, AK 2006]

4.4 Ergitme faaliyetlerinden havaya salınan emisyonların kontrolüne yönelik teknikler

4.4.1 Partikül madde

Bu belgenin amaçları doğrultusunda, 'partikül madde' terimi, ölçüm noktasında katı olan tüm materyalleri ifade eder ve ergitme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlarda toz terimi ile eşanlamlı olarak kullanılmıştır. Yani, terimler bu bölümde birbirinin yerine geçebilecek şekilde kullanılmıştır. Toplam partikül madde terimi ise, tüm inorganik ve organik katı malzemeleri (alt boyut sınırı olmaksızın), baca gazlarında mevcut olabilecek sıvı materyalleri (damlacıklar ve aerosoller) ifade eder. Ölçüm noktasındaki sıcaklık özellikle cam fırınları için önemlidir, çünkü toz oluşturan bazı malzemeler (özellikle boratlar) çok düşük sıcaklıklarda uçucu olabilir. Ayrıca bu işlemlerden kaynaklanan tozun nitelikleri dolayısıyla kesin bir ölçüm çok zordur.

Cam fırınlarından çıkan toz emisyonlarının nitelikleri farklı işlemler arasında değişiklik gösterir, ancak temelde fırının tasarımı ve işletimi ile camın bileşimine bağlıdır.

Erime sonucu oluşan üç başlıca toz kaynağı şunlardır:

- harman malzemesinin taşınımı
- Harmandaki hammaddelerde ve cam eriyiğinde bulunan maddelerin buharlaşması ve reaksiyonu
- yakıtlardaki metal safsızlıkları

Gaz halindeki kirleticiler ile atık gaz arıtımı için kullanılan alkali reaktifler arasındaki kimyasal reaksiyondan meydana gelen katı ürünler, ergitme işlemine ilişkin bir ikincil toz emisyon kaynağı teşkil eder.

Fosil yakıtlı fırınlar için, sıcak cam yüzeyinden salınan uçucu malzemelerin buharlaşması ve ardından reaksiyona girmesi/yoğunlaşması, toplam toz emisyonunun açık ara en büyük kısmını oluşturur. Genelde toz emisyonlarının % 80 ila 95'i bu şekilde ortaya çıkar. Bu nedenle, atık gaz arıtılmadan veya ölçülmeden önce bütün uçucu türlerin yoğunlaşmış olmasını sağlamak önemlidir. Bu, sodyum sülfat için bir problem değildir (erime noktası yaklaşık 884 ° C) ancak borat içeren baca gazları için göz önüne alınmalıdır.

Harmandaki hammaddelerin taşınması, modern, iyi çalışan bir fırından çıkan nihai emisyonların genellikle %5'inden daha azına sebep olur. Buradan kaynaklanan toz, başta en hafif malzemeler olmak üzere harman bileşenlerinden oluşur. Yakıtlardaki metal safsızlıkları (vanadyum ve nikel), genel olarak toplamın % 5'inin çok daha altında olmak üzere, toz emisyonlarına katkıda bulunacaktır. Bu safsızlıklar, esas olarak fuel oilden kaynaklanmakta olup, bu yolla küçük miktarda külün de eklenmesi mümkündür. Metal safsızlıklar ayrıca cam kırıkları ve diğer hammaddelerde de bulunur.

Malzeme buharlaşması ve partikül oluşumu mekanizmaları tüm cam türleri için tam olarak anlaşılamamıştır. Özellikle, SO₂ bakımından zengin baca gazları için (petrol yakıtlı fırınlar) partikül oluşumu mekanizması, 400°C'nin altındaki sıcaklıklarda oldukça karmaşık olup farklı bileşenler meydana gelebilmektedir (sodyum hidrojen sülfat (NaHSO₄), sodyum piro-sülfat (Na₂S₂O₇) and sülfürik asit (H₂SO₄)), bu bileşenler dikkate alınmadığında partikül derişimi ölçümlerinin güvenilirliğini ciddi ölçüde etkileyebilir. AB'de üretilen tüm camların yaklaşık %90'ı soda-kireç camdır ve bu bileşimlere dair bilginin çoğu mevcuttur. Soda-kireç cam fırınlarından çıkan toz, ağırlıklı olarak sodyum sülfattan oluşur. Tozun % 98'e kadarı çözünebilir malzemelerden oluşur ve bunun % 80 – 90'ı sodyum sülfattır. Geri kalan kısım camın kesin bileşimine bağlı olacaktır, ancak başta potasyum sülfat (K₂SO₄) olmak üzere genellikle sülfatlardan oluşacaktır. Çözünmeyen kısım, daha düşük seviyelerde metallerle (örn. Al, Fe ve Cr) birlikte, esas olarak silika içerir. Dış cam kırıkları kullanılıyorsa, tozda diğer bileşenler (örn. Pb) bulunabilir. Partikül çapı genel olarak 0,02 ila 1 µm aralığındadır, ancak küçük partiküller kolaylıkla bir araya gelerek daha büyük partiküller oluşturur. Son araştırmalar, düz cam fırınından çıkan emisyonlardaki partikül maddenin, hem arıtılmamış hem de temizlenmiş atık gazda 0,02 ila 2 µm aralığında ve medyan çapı 1,3 µm aralığında olan partiküllerden oluştuğunu göstermiştir (Bakınız: Glass International, Eylül 2009 - Düz cam fırınlarının atık gazdaki partikül boyutu aralığı) [178, Glass International Eylül 2009]. Meydana gelebilecek bir dizi farklı buharlaşma süreci aşağıdaki 4.4.1.1 kısmında ele alınmıştır.

Bileşimlerinde önemli seviyelerde bor bulunan camlar için (örn. kesintisiz cam elyafı, cam yünü ve borosilikat cam), yayılan tozun önemli bir bileşenini boratlar oluşturur. Geri kalan kısım ise harman bileşenlerine ve safsızlıklara bağlı olarak sülfatlar, silika ve diğer bileşiklerden (dolomit, kireç) oluşacaktır.

Harman bileşimleri, farklı cam türleri için büyük ölçüde farklılık gösterebileceğinden, ortaya çıkan toz emisyonları da çeşitlidir ve farklı oluşum mekanizmalarını takip eder. Cam eriyiklerinden buharlaşan başlıca bor türleri sodyum metaborat (NaBO₂), potasyum metaborat (KBO₂) ve metaborik asittir (HBO₂).

Mineral cam yünü üretiminde, harman bileşimi yüksek miktarda boron oksidin yanı sıra, erime sırasında buharlaşan ve ardından 900°C'nin altında, 650 - 700°C'ye kadar katı sodyum metaborat (NaBO₂) oluşturan yüksek miktarlarda sodyum oksit içerir. Küçük miktarlarda bor gaz halinde, esas olarak metaborik asit (HBO₂) halinde salınır. Tozun kimyasal bileşimi esas olarak düşük borik asit seviyelerine sahip alkali boratlarından meydana gelir.

Bor içeren diğer cam türleri için durum farklıdır. Düşük alkali içerikli boron camlar için (örneğin kesintisiz cam elyafı için bor içeren E-cam), düşük alkali oksit derişimi (tipik olarak kütlece yaklaşık %1), metaborik (HBO₂) asidin baskın buharlaşmasına yol açan toz oluşum mekanizmasını etkiler. Baca gazı soğutması sırasında, sodyum ve potasyumun neredeyse tümü sülfatlar oluşturmak (sodyum sülfat ile cam eriyiğinin inceltilmesinden elde edilen SO₂'nin varlığından kaynaklanır) ve bir düzeye kadar alkali boratlar oluşturmak üzere yoğunlaşırken, gaz halindeki bor bileşikleri borik asit (H₃BO₃) gibi diğer türler oluşturmak üzere reaksiyona girebilir: HBO₂ + H₂O → H₃BO₃ [167, Hans van Limpt (TNO) 2007]. Borik ve metaborik asit düşük yoğunlaşma sıcaklıkları gösterir ve filtrasyon sıcaklıklarında baca gazlarında hala gaz halinde (özellikle borik asit) mevcut olabilirler. Bu durumda, borik asit türlerinin çoğu baca gazında 200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, ancak aynı zamanda 60 °C'ye kadar düşük sıcaklıklarda gaz halinde bileşikler olarak mevcut olacaktır.

Borosilikat camlar söz konusu olduğunda, tozun oluşum mekanizması, filtrasyon sistemlerinin baca gazında bulunan boron türlerini uzaklaştırma kabiliyetini önemli ölçüde etkiler. Atık gazın bileşimi, filtre sisteminin çalışma sıcaklığı, emici maddenin türü ve filtre sisteminin öncesindeki enjeksiyon noktası, gaz halindeki bor bileşiklerini yakalamak için son derece önemlidir.

Çoğu durumda, ergitme fırınının baca gazında gaz halindeki bor bileşikleri mevcut olduğunda, partikül içeriği (ölçülen), büyük ölçüde uygulanan ölçüm yöntemine ve örnekleme noktasındaki atık gazın sıcaklığına bağlıdır. Bu nedenlerle, baca gazındaki partikül ve gaz halindeki bor bileşiklerini ayırt etmek için özel bir ölçüm prosedürü uygulanmalıdır (bkz. Bölüm 8.3.2).

Bu yazının yazıldığı tarihte (2010), borosilikat camların baca gazlarındaki gaz halindeki bor bileşiklerinin azaltılmasına yönelik devam eden ve planlanmış bir takım araştırma faaliyeti bulunmaktadır. Kurşunlu camda (TV ve kristal cam), kurşun buharlaşması kurşun oksit oluşumuna veya bazen kurşun sülfat yoğunlaşmasına neden olacaktır.

Soğuk başlıklı elektrikli ergiticilerde toz emisyonları çok daha düşüktür ve neredeyse tamamen harman malzemesinin taşınımından kaynaklanır. Yüksek sıcaklıklı yanma atmosferinin olmaması, reaktif buharlaşma yoluyla partikül madde oluşumunu engeller.

Taş yünü kupol fırınlarında, toz emisyonları hammadde tozu, yanma ürünleri ve ergitme sırasında salınan yoğunlaşmış uçucu maddelerin bir kombinasyonundan oluşur.

Cam işlemleri ile ortaya çıkan havaya metal emisyonlarının büyük kısmı partikül madde içindedir. Bu nedenle, metaller bu bölümde ayrı olarak değil, toz emisyonlarıyla birlikte ele alınmıştır ve gerekli yerlerde diğer kısımlara atıfta bulunulmuştur. Bronz veya rengi giderilmiş camlardan gelen selenyum ve bazı kurşunlu kristal, özel cam proseslerinden gelen kurşun veya dış cam kırıklarındaki safsızlıklar gibi bazı koşullarda önemli metal gazı emisyonları olabilir.

Metalin ana kaynakları, hammaddelerdeki safsızlıklar, belirli özellikler vermek için eklenen özel maddeler ve katkı maddeleri (örn. kurşun oksitler ve renklendiriciler/rengi gidericiler), cam kırıkları ve yakıttır. Dış cam kırıkları, özellikle kurşun olmakla birlikte (cam ambalajı cam kırıkları için geçmişten beri 94/62 sayılı AB Ambalajlama ve Ambalajlama Atığı Mevzuat-Yönetmeliğine tabi kurşun camlardan bulaşım söz konusudur, ortalama uyarı değeri 200 ppm'dir) diğer metaller bakımından da önemli bir metal bulaşımı kaynağıdır; örneğin, cam kırıklarında cıva buharlı ışık tüpleri varsa cıva bulaşımı meydana gelebilir. Metal emisyon seviyelerine ilişkin bilgiler 3. Bölümdeki sektöre özgü kısımlarda ve Tablo 3.5'te verilmektedir.

Tozun içindeki veya gaz bileşenler halindeki metal emisyonlarını kontrol etmek için üç temel yaklaşım mevcuttur:

1. Hammaddelerin bulaşımını en aza indirecek şekilde seçimi ve mümkün olduğunda alternatif katkı maddeleri kullanılması. Hammadde seçimi, kırık kalitesine ilişkin şartları içerir. Sınırlı dış kırık mevcudiyeti nedeniyle yalnızca iç cam kırıklarının kullanıldığı durumlarda, metal emisyonlarının kontrol edilmesi çok daha kolay olabilir.
2. Özellikle torbalı filtre sistemleri ve elektrostatik toz tutucular gibi toz azaltma teknikleri. Emisyonların toplam tozun %70 – 80'ine kadar önemli metal derişimi içerdiği durumlarda (yani kurşun kristal cam üretimi), yüksek verimli toz azaltma sistemleri genellikle hem toz hem de metal emisyonlarını azaltabilir.
3. Gaz halindeki metal emisyonları (örn. selenyum), toz azaltma ile birlikte kuru veya yarı kuru yıkama tekniklerinin kullanılmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir, bkz. 4.4.3.3.

Metal emisyonlarının azaltılması, özellikle Almanya'daki bazı durumlarda toz azaltma sisteminin kuru veya yarı kuru yıkama ile birlikte kurulmasının arkasındaki itici güç olmuştur.

Cam fırınlarında tozsuzlaştırma için MET belirlenirken dikkate alınan faktörler şunlardır:

- tozun çevresel etkisi

- MET ile ilgili birincil ve ikincil önlemler teknikleri
- ölçek ekonomisi ve ilgili maliyet hususları.

Tozun çevresel etkisi

Toz emisyonlarının çevreyi ilgilendiren yönleri, genel olarak toz emisyonları, (ağır) metallerin potansiyel emisyonu ve ince partikül madde emisyonlarıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi, soda-kireç camlarda, tozun ana bileşeni sodyum sülfattır (% 95'e kadar). Sodyum sülfat kendi başına zararlı olarak kabul edilmez [68, Evsel Cam Verileri güncellemesi 2007] [168, CPIV - Sağlık Riski Değerlendirmesi 2009]. Ancak, genellikle cam fırınlarından kaynaklanan emisyonlar için geçerli olan, çapı 10 µm'den (PM₁₀) ve 2,5 µm'den (PM_{2.5}) küçük parçacıkların emisyonu, sağlık sorunlarına sebep olma ve çevreye zarar verme potansiyeline sahiptir ve bu nedenle, çevresel politika yapıcılarını konuyla giderek daha fazla ilgilendirmektedir.

Cam fırınlarından çıkan partikül maddede belirli metal türleri de bulunabilir. Önem arz eden temel bileşenler selenyum (Se), kurşun (Pb), krom (Cr), bakır (Cu), vanadyum (V), nikel (Ni), antimon (Sb), arsenik (As), kadmiyum (Cd), çinko (Zn) ve manganezdır (Mn). Bu bileşenlerin emisyonları büyük ölçüde, kullanılan geri dönüştürülmüş camın (kırıntı) miktarına ve kalitesine, fuel oil kullanılıp kullanılmadığına ve camın renklendirilmesi ve/veya renginin giderilmesi için harman formülasyonuna metal eklenmesine bağlıdır.

Son olarak dikkat edilmesi gereken bir nokta da, özellikle bor içeren camlarda meydana gelebilen, gaz halindeki bileşenlerin bacadan sonra yoğunlaşması potansiyelidir; burada, gaz halindeki bor bileşiklerinin bir kısmı toz azaltma ekipmanından geçebilir ve atmosfere salındıktan sonra yoğunlaşabilir.

MET ile ilişkili birincil ve ikincil önlemler teknikleri

Cam fırınlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılması için mevcut birincil ve ikincil tekniklerin açıklaması 4.4.1.1 – 4.4.1.6 kısımlarında verilmiştir.

Cam sanayiinde ikincil önlemler teknikleri (örneğin elektrostatik toz tutucular ve torbalı filtreler) yaygın olarak uygulanmaktadır ve bazı Üye Devletlerdeki fırınların tümünde toz için ikincil önlemler bulunmaktadır. Şimdiye kadar, ince partikül madde, asit bileşenleri ve (ağır) metal emisyonlarını azaltma ihtiyacı, ikincil önlemlerin uygulanmasını hava emisyonları açısından en iyi seçenek haline getirdi. Öte yandan, ikincil önlemlerin uygulanmasında önemli derecede finansal ve belirli bir düzeyde çevresel maliyet söz konusudur.

Genel olarak, gerek ikincil önlemler tekniklerinin çok daha iyi performansı, gerek yakın gelecekte birincil tedbirlerle bu kadar düşük değerlerin elde edilmesinin mümkün görünmemesi, teknik olarak birincil tedbirlerin olumlu yönlerini gölgede bırakmaktadır. Bunun yanı sıra, toz emisyonlarını azaltmak için birincil tekniklerin tek başına kullanımı, besleme malzemelerinin kalitesi (düşük miktardaki safsızlıklar: florürler, klorürler, ağır metaller), yakıt türü (düşük miktarda kükürt ve ağır metaller) ve üretimdeki değişiklikler (renklendirilmiş veya rengi giderilmiş camlar) açısından, fırının işletim koşullarının esnekliğini sınırlayabilir.

Ölçek ekonomisi ve ilgili maliyet hususları

Genel olarak, cam sanayiindeki toza yönelik ikincil önlemler tekniklerinin erişilebilir, teknik olarak uygulanabilir ve çoğu durumda ekonomik olarak uygun olduğu değerlendirilmektedir.

Bununla birlikte, herhangi bir ikincil teknikte olduğu gibi, ölçek ekonomisi önemli bir husustur. Bu, başta emisyonlardaki metal içeriğinin çok düşük olduğu ve yüksek kaliteli soda-kireç cam gereci üretimi yapılan, günde 80 tonun altında kapasiteli küçük veya çok küçük sofr gereci (cam ev eşyası) fırınları olmak üzere, küçük fırınların bağıl maliyetlerinin (arıtılan Nm^3 baca gazı başına veya ergitilen ton cam başına maliyet) genellikle büyük fırınlara göre daha yüksek olduğu anlamına gelir (bkz. 8.17'deki Tablo 8.3 ve 8.4). Maliyetler, uygulamaya ve özellikle atık gazın hacmine bağlıdır. Ton erimiş cam başına özel maliyetler, üretilen camın tipine ve fırının boyutuna bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Genel düzeyde MET belirlenirken ölçek ekonomisinin çevresel faydalarla (ince partikül maddelerin, metallerin (varsa) giderilmesi ve asit gaz yıkaması (varsa), atık üretimine bağlı ortamlar arası etkiler (geri dönüşüm mümkün değilse), enerji tüketimi ve elektrik enerjisi ile alkali reaktiflerin kullanımından kaynaklanan dolaylı emisyonlar) birlikte dikkate alınması gerekebilir.

4.4.1.1 Birincil teknikler

[19, CPIV 1998] [31, CPIV 1998]

Açıklama

Cam fırını oldukça dinamik bir ortamdır; kimyasının veya çalışma koşullarını herhangi bir şekilde değiştirilmesi, ergitirgitme işlemi ve diğer emisyonlar üzerinde bazı sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle, bu belgede açıklanan tüm birincil teknikleri birbirinden ayrı teknikler olarak değil, bir tedbir paketi olarak değerlendirmek önemlidir. Ancak açık olunması bakımından gerektiği üzere teknikler ayrı ayrı açıklanmış, fakat mümkün olduğu kısımlarda bunların etkileri ele alınmıştır. Malzemenin taşınımından kaynaklanan emisyonların düşük seviyede tutulması, hammaddelerde belirli bir nem seviyesinin korunması ve harman örtüsünün kaplamasının, partikül boyutunun, gaz hızının ve brülör konumlandırmasının kontrol altında tutulmasıyla sağlanır. Kullanılacak Harmandaki hammaddelerin kuru ve/veya çok ince olmasını gerektiren işlemler için taşınımdan kaynaklan toz emisyonları biraz daha yüksek olabilir.

Bununla birlikte, bunların genel emisyonlara katkısı, uçucu türlerin katkısına kıyasla çok daha az olacaktır. Malzeme yüklemesinden kaynaklanan tozla ilgili sorunlar, yukarıdaki 4.3 kısmında ele alınmaktadır. Toz emisyonları esas olarak uçucu türlerden kaynaklandığından, burada ele alınan birincil önlemler teknikleri bu kaynak üzerinde yoğunlaşmaktadır. Soda-kireç fırınlarının toz analizinden, sodyumlu türlerin baca gazlarında toz oluşumuna yol açan temel bileşenler olduğu sonucuna varılabilir. Harmandan (örn. NaCl) ve eriyikten (örn. NaOH) kaynaklanan uçucu türler, 1100°C 'nin altındaki atık gaz sıcaklığında yoğunlaşan bir bileşik olan sodyum sülfat (Na_2SO_4) oluşturmak üzere kükürt oksitler ile reaksiyona girer. Çoğu durumda, inceltici olarak sodyum sülfat kullanılır. Sodyum sülfatın eriyik cam içerisinde ayrışması, kükürt oksit derişimlerine neden olur ve bunlar yanma odası ve baca gazlarındaki sodyum bileşeni derişimlerinden çok daha yüksektir. Na_2SO_4 oluşumuna gelince, yakıtın yanması veya harmandaki sülfattan kaynaklanan kükürt oksitler, toz oluşumunda baskın parametre olan uçucu sodyuma kıyasla stokiometrik fazlalıkta mevcuttur. Ana sodyum kaynakları, cam kırığı veya soda külü ve düşük bir seviyeye kadar sodyum sülfattır. Ancak harman bileşiminde yüksek miktarlarda sodyum sülfat kullanımı toz emisyonlarında artışa neden olur.

Kükürt içeriği çok az olan gazlarda, baca gazlarının 900°C 'nin altına soğutulması sırasında sodyum klorür, sodyum florür, sodyum karbonat ve sodyum hidroksit partikülleri oluşabilir. Bu sık karşılaşılan bir durum değildir; yalnızca doğal gaz kullanıldığında ve sodyum sülfat yerine antimon gibi başka bir inceltici madde kullanıldığında gerçekleşebilir. Cam ambalaj veya düz cam işlemlerinde hiçbir zaman gerçekleşmez, ancak özel uygulamalarda meydana gelebilir.

Soda-kireç camında meydana gelebilecek bir dizi farklı buharlaşma süreci tanımlanmıştır:

- Eriyik cam yüzeyinden reaktif buharlaşma. Silikat eriyiğindeki sodyum oksit (Na_2O), yüzeyde su buharı ile reaksiyona girer: $\text{Na}_2\text{O} (\text{eriyik}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} (\text{g})$. Bu tür buharlaşma, soda-kireç cam fırınlarındaki toz emisyonlarının başlıca kaynağı olabilir.
- Sentetik sodada safsızlık olarak bulunan NaCl 'nin buharlaşması. Bu buharlaşma sadece sodyum sülfat tozuna değil, aynı zamanda HCl oluşumuna da yol açar.
- Sodyum sülfatın eriyik cam yüzeyinden buharlaşması.
- Fırın atmosferindeki bileşenlerle harman örtüsünün yüzeyinde kimyasal reaksiyonlar yoluyla reaktif buharlaşma. Alev bölgesinde bulunan su buharının, soda külünün sodyum hidroksit buharları oluşturmak üzere reaksiyona girmesinde önemli olduğu düşünülmektedir, potasyum bileşikleri için benzer reaksiyonlar mevcuttur: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{g}) + \text{CO}_2$.
- Harman örtüsünün yüzeyinden hammadde bileşenlerinin (örn. kum, feldispatlar, kireç, soda külü, dolomit ve sodyum sülfat) buharlaşma miktarı genellikle çok düşüktür. 1200°C 'nin altında buhar basınçları çok düşüktür ve 1000°C 'nin üzerinde ayrı bileşenler silikat oluşturmak için halihazırda reaksiyona girmiş haldedir.
- Afinasyon işlemi sırasında sodyum bileşiklerinin gaz kabarcıkları halinde buharlaşması da nispeten önemsizdir.
- Dış cam kırıklarının geri dönüşümünde (cam ambalaj fırınları), cam kırıklarında bulunan kurşunlu cam, ayna cam kırıkları ve metalik kurşun kirleticilerden kaynaklanan kurşun bileşikleri (PbO , PbCO_3 , PbSO_4) emisyonları gerçekleşebilir. Bu, kalite talepleri nedeniyle genel olarak sadece iç cam kırıklarının kullanıldığı ev sektöründeki soda-kireç camı için geçerli değildir. Bu durumlarda, harman formülasyonunda kullanılan cam kırıklarının seviyesi sürece bağlıdır ve sınırlandırılabilir.

Diğer cam türleri için durum farklıdır. Daha önce 4.4.1'de açıklandığı gibi, düşük alkali içeren bor camları için reaktif uçuculuğun ana partikül madde kaynağı olduğu düşünülmektedir. Yayılan tozun bileşimi, harman formülasyonunun alkali içeriğine ve artıma maddesine bağlı olarak önemli ölçüde değişir.

Bor içeren camlarda, buharlaşma ile toz oluşumu çok kolay bir şekilde meydana gelir ve azaltılmamış emisyonların derişimi genellikle soda-kireç camlarına göre daha yüksektir. Bazı durumlarda bu fark on kattan fazladır.

Soda-kireç camı için açıklanan buharlaşma mekanizması türleri, diğer birçok camdaki buharlaşma için de genel olarak baz alınabilmekle birlikte, doğal olarak kimyasal bileşime bağlı farklılıklar olacaktır. Buharlaşmayı etkileyen en önemli faktörler; sıcaklık, fırın atmosferindeki su buharı içeriği, eriyiğin veya harman örtüsünün tam üzerindeki indirgeyici gazlar ve eriyik yüzeyindeki gazların hızlarıdır. Başta soda-kireç camındaki sodyum ve sülfatlar ile bor camlardaki bor olmak üzere, reaktif türlerin mevcudiyeti de önemli bir faktördür. Bununla birlikte, bu faktör genellikle camın kimyası ile sınırlıdır.

ErgitErgitme işlemi için oksî-yakıt yanması uygulandığında özel bir durum ortaya çıkar. Baca gazının azalan hacmi ve hızı, ve cam eriyikle temas eden yanma gazlarının önemli ölçüde farklılık gösteren bileşimi (çok daha yüksek su buharı ve CO_2 derişimi) buharlaşma süreçlerini etkiler ve bu da genel olarak daha yüksek buharlaşan tür derişimleriyle ve daha agresif fırın atmosferleriyle sonuçlanır. Bununla birlikte, kg/ton cam olarak ifade edilen toplam toz emisyonları çoğunlukla azalma gösterir, ancak bu etki fırının tasarımına, tipine ve brülörlerin pozisyonuna büyük ölçüde bağlıdır.

Toz emisyonlarını azaltmak için alınabilecek en önemli birincil tedbirler aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir.

a. Hammadde derişimleri

Sodyum klorür, toz ve klorür emisyonlarında önemli bir faktör olabilir. Bazı özel camlarda arındırıcı olarak kullanılır, ancak daha çok Solvay prosesi ile oluşturulan soda külünde düşük seviyeli bir safsızlık olarak bulunur. Cam sanayiinin baskısı, soda külü üreticilerini NaCl seviyelerini önemli ölçüde düşürmeye itmiştir (güncel olarak genelde yaklaşık 1 kg/ton). Kısa vadede daha önemli bir azalma olması için, muhtemelen daha fazla işleme ve dolayısıyla fiyat artışı gerekli olacaktır. Neredeyse hiç

NaCl içermeyen doğal soda külü mevcuttur; ancak bu malzeme, menşe ülkelerin vergileri ve nakliye maliyetleri nedeniyle genellikle AB'de daha pahalıdır. Doğal soda külünün ana tedarikçisi ABD'dir.

Çoğu fırında, harmandaki sülfat seviyeleri, iyi arıtma faaliyetleri ve camın doğru oksidasyon durumunun korunması yoluyla en az düzeye indirilmiştir. Arsenik ve antimon bazlı arıtıcı maddeler gibi sodyum sülfat alternatifleri, daha büyük çevresel sorunlar teşkil edebilir. Bu alanda gelecek ilerlemelerin emisyonları önemli ölçüde azaltması beklenmemektedir. Sınırlayıcı faktörün sodyum içeren buharların derişimi olduğu düşünülmektedir, ancak gazla çalışan fırınlarda sülfat derişimlerinin çok düşük olması gaz fazındaki reaksiyonu sınırlayacaktır. Bor içerikli camlarda bor, ürünlerin şekillendirilmesi ve ürünün özellikleri için esastır. Son yıllarda bor seviyelerinde önemli azalmalar sağlanmıştır; ancak üretkenliği, enerji tüketimini ve kaliteyi etkilemeden daha fazla ilerleme kaydedilmesi giderek zorlaşmaktadır. Bor içeren malzemeler nispeten pahalıdır ve tüketimi azaltmak için her türlü çaba gösterilmektedir. Bu belgenin hazırlandığı dönemde, bor yerine kullanılabilecek güvenilir bir alternatif yoktur ve söz konusu zorluklar birçok işletiminin özellikle cam yünü ve borosilikat fırınları için ikincil önlemler tekniklerini uygulamaya geçirmesine yol açmıştır. Genel olarak, arındırılan tozlar fırına geri dönüştürülür.

Kesintisiz cam elyaf sektöründe faaliyet gösteren bazı şirketler, düşük seviyelerde bor ve flor içeren, veya bu elementlerin yalnızca hammaddelerdeki eser miktarlarını içeren cam bileşimleri geliştirmiştir. Toz oluşumunda borun önemini göstermek açısından, bu bileşimler için ton erimiş cam başına 0,14 kg olan partikül madde emisyon değeri, birincil tedbirlerin uygulanmadığı, bor içeren formülasyonlar için ton erimiş cam başına 2 kg'dır. Bu tip cam daha yüksek bir erime sıcaklığı gerektirir, elyaflaştırılması daha zordur ve refrakter ömrü üzerindeki uzun vadeli etkileri henüz belirlenmemiştir. Tekniğin detayları mülkiyet kapsamındadır ve bu nedenle, son derece ümit verici olmasına bir teknik olmasına rağmen, genel kullanılabilirliği henüz söz konusu değildir. Farklı şirketlerin ilerleme düzeyleri değişkenlik göstermektedir, ancak bu formülasyonların bazıları güncel olarak pazarlanabilmektedir.

b. Eriyik yüzeyinde sıcaklık düşüşü

Cam eriyiğinin yüzey sıcaklığı, daha yüksek sıcaklıklarda daha uçucu türler üretildiğinden, partikül oluşumunda önemli bir faktördür. Soda kireç fırınlarında tavan sıcaklığı ve cam eriği yüzey sıcaklığı ile partikül oluşumu arasında korelasyon olduğu gözlenmiştir. Fırın sıcaklığının düşürülmesi, cam kalitesi, fırının verimliliği ve baca gazındaki NO_x derişimi gibi diğer çevresel unsurlarla dengelenmelidir. Ton cam başına tozun azaltılmasında en büyük etkiye sahip olan tedbirler, enerji verimliliğini ve özellikle cama ısı aktarımını iyileştiren tedbirlerdir. Başlıca noktalar aşağıda verilmiştir.

- Konvektif akımları ve ısı aktarımını iyileştirmeye yönelik fırın tasarımı ve geometrisi. Bu değişiklikler yalnızca fırının yenilenmesi sırasında uygulanabilir. Daha büyük fırınların enerji verimliliği genellikle daha yüksektir, ayrıca ton cam başına daha düşük emisyonlara neden olurlar.
- Enerjiyi doğrudan eriyiğin içine vererek ve konvektif akımları iyileştirerek tavan sıcaklığını düşürmeye yardımcı olan elektrikle destekleme kullanımı. Elektrotların konumu önemlidir, ancak fırının yenilenmesi haricinde konumlandırmada değişiklik yapılması zordur. Elektrikli destekleme genellikle elektriğin maliyeti ile sınırlandırılır.
- Kırık kullanımının artması, ergitergitme enerjisi gereksinimini azaltacak ve ergitergitmenin daha düşük bir sıcaklıkta ve daha az yakıt kullanılarak gerçekleştirilmesine izin verecektir. Ayrıca, cam cam kırıkları halihazırda ergitilmiş olduğundan bunların kullanımı, sodyum klorür ve harmandaki sülfatlar gibi toz oluşumuna katkıda bulunan bazı uçucu ve reaktif türlerin miktarının azaltılmasına yardımcı olur. Bu durum özellikle, kırık kullanımı sayesinde yakıt gereksinimindeki azalmanın SO₂ seviyelerini azalttığı petrol veya karışık petrol/gaz yakıtlı fırınlarda geçerlidir. Cam cam kırıklarının kullanımı, uygun kalite, bileşim ve fiyata sahip kullanılabilir kırık miktarıyla sınırlıdır. Örneğin, cam ambalaj fırınlarında % 5 - 95 oranında (iç ve dış), soda-kireç camı ev eşyaları ve düz cam fırınlarında % 10-40 oranında (genellikle sadece iç) kırık kullanılırken, kesintisiz cam elyaf fırınlarında herhangi bir kırık kullanımı nadirdir.

c. Brülör konumu

Eriyikten buharlaşma oranını etkileyen bir diğer önemli faktör, eriyiğin üzerindeki gazların yer değiştirme hızıdır. Eriyiğin yüzeyindeki yüksek gaz hızı veya yüksek düzeyde türbülans, buharlaşma oranını artıracaktır. Brülörlerin konumlandırılması yoluyla, yanma havası hızı ve yönü ile yakıt hızı ve yönünün optimizasyonunda ilerlemeler kaydedilmiştir. Ayrıca, harman formülasyonunun uçucu bileşenleri üzerinde azaltılmış sıyırma etkisini getiren, cam eriyiği ve harman örtüsü üzerindeki baca gazı hızının azaltılması amacıyla, bu değişiklikleri fırındaki değişikliklerle bir araya getirmeyi içeren başka çalışmalar da yapılmıştır. Fırın tasarımındaki değişiklikleri içeren değişiklikler, yalnızca fırının yenilenmesi sırasında uygulanabilir. Diğer bazı değişiklikler ise, en etkili olarak fırının yeniden tasarımı sırasında uygulanabilir. Brülörlerin konumunu değiştirirken, eriyik ile temas eden indirgen yalazları azaltmaktan kaçınmak önemlidir, çünkü bu toz emisyonlarını artıracak, cam kalitesini etkileyebilecek şekilde üstyapıda refrakter hücumunu kolaylaştıracaktır.

d. Doğal Gaz (veya çok düşük kükürtlü petrol) ile yakmaya geçiş

Fuel oil yerine doğal gaz kullanımı kullanıma geçiş, toz emisyonlarında önemli azalma sağlayabilir. Bunun nedeni muhtemelen gaz kullanımında partiküllerin girdiği daha özel (petrole göre) yoğunlaşma reaksiyonlarıdır, ancak bazı durumlarda azaltılmış SO_x seviyeleri de bir faktör olabilir.

Örneğin, düz cam sektöründe, petrolden gaz ateşlemeye geçiş ile toz emisyonunda %25'in üzerinde azalma olduğu bildirilmiştir. Yine aynı sektörde, petrolün kükürt içeriğinin azaltılmasının önemli bir etkisi olduğu da bildirilmiştir (petrolün kükürt içeriğinin her %1 oranında azaltılması ile tozun 20 mg/Nm³ azalması). Düşük kükürtlü petrol ile (< %1) cam ev eşyaları sektöründe de benzer bir etki gözlenmiştir. Doğal gazlı ateşlemeye geçiş 4.4.3.1 kısmında daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Başlıca noktalar aşağıda özetlenmiştir:

- tesislerin çoğu, her iki yakıtın da kullanımına izin veren donanımına sahiptir, ancak bazılarında doğal gaz veya fuel oil tedarikine erişim olmayabilir.
- tekniğin maliyeti özünde güncel yakıt fiyatlarına bağlı olacaktır;
- fuel oil alevlerine kıyasla gaz alevinin daha düşük yayınlığı, eriyiğe olan ısı aktarımını azaltır ve enerji tüketimini artırabilir;
- doğal gaz kullanımı, fuel-oil kullanımıye kıyasla daha fazla NO_x emisyonuna neden olabilir;
- bazı karışık yanma durumlarında, her iki yakıt türünün aynı anda tek bir fırında kullanılması, fırın enerji tüketimini ve NO_x emisyonlarını önemli ölçüde artırmadan toz emisyonlarının azaltılmasını sağlayabilir.

e. Diğer teknikler

Soğuk başlıklı elektrikli fırınlardan kaynaklanan emisyonlar, yükleme sırasında hava akışlarını ve türbülansı azaltarak ve hammaddenin tane boyutu ile nemini optimize ederek en aza indirilebilir. Harman formülasyonuna eklenen üretim atığının briketlenmesi dışında, taş yünü kupol ocaklarından kaynaklanan toz emisyonları için birincil tedbirler nadiren uygulanır. Gerçekleştirilebilecek en önemli eylem, tozu gidermek için ham maddeleri yıkamak olacaktır. Bununla birlikte, kupolların çoğunda torbalı filtreler bulunur ve ek birincil tedbirlerin uygulanması fazla teşvik edilmez, çünkü bunların ikincil tedbirlere olan ihtiyacı ortadan kaldırması pek olası değildir.

Toz emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tekniklerin başlıca avantajları ve dezavantajları Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

Tablo 4.5: Toz azaltma için birincil tekniklerin temel avantajları ve dezavantajları

Avantajlar:
• Düşük maliyetli • Azaltma yerine önleme odaklı • İkincil tekniklerle ilişkilendirilebilecek enerji kullanımının veya potansiyel katı atıkları içermezler
Dezavantajlar:
• Birincil tedbirler/teknikler, genel olarak Elektrostatik toz tutucularlar gibi ikincil tekniklerle ilişkili emisyon seviyelerini karşılamaz. • Birincil tedbirler/teknikler, sürece ilave işletim kısıtlamaları getirir.

Elde edilen çevresel faydalar

Sonuçları etkileyebilecek değişik faktörler ve fırın tipleri ile cam formülasyonlarındaki geniş çeşitlilik nedeniyle, yalnızca birincil teknikler kullanılarak elde edilmesi mümkün emisyon seviyelerinin ölçülmesi zordur.

Alevle çalıştırılan fırınlar için en düşük emisyon seviyeleri, yalnızca birincil önlemler teknikleri kullanılarak, soda-kireç camları üreten fırınlarla elde edilmiştir. Ortalama kütle emisyonları yaklaşık 0,4 kg/ton ergitilen cam olup, emisyon derişimlerinin büyük bölümü ise 100 – 300 mg/m³ aralığında yer alır. Toz için 100 mg/Nm³'ün altında değerlere ulaşan bazı fırınlar mevcuttur, ancak bunların kullanımı yaygın değildir.

Bu belgenin yazıldığı tarihlerde, birkaç fabrikada ikincil önlemler olmaksızın 100 mg/Nm³'ün altında toz emisyonları sağlanmaktadır ve güncel olarak birincil tedbirlerle 100 - 200 mg/Nm³ (≤0,4 kg/ton cam) değerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.

Soda-kireç camı dışındaki bileşimler için bu rakamlara ulaşılması öngörülmemektedir. Diğer bileşimler için, birincil tekniklerin optimize edilmesinin, toz emisyonlarını sınırlamaya yönelik herhangi bir özel tedbir alınmadığında elde edilen bir değere göre, emisyonlarda % 10 – 30 aralığında bir azaltma sağlaması beklenmektedir.

İkincil tedbirlerle (filtreleme sistemleri, ıslak yıkayıcılar) birincil tedbirlerin kombinasyonu, baca gazlarından uzaklaştırılacak ve geri dönüştürülecek veya bertaraf edilecek toz miktarını azaltır.

Ortamlar arası etkiler

Açıklanan teknikler genel olarak emisyonları ek kimyasallar/maddelere ihtiyaç olmadan önler, bu nedenle ortamlar arası etkilerin olumlu olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte, uçucu bileşenlerin azaltılması kapsamında harman bileşiminin hazırlanması için kullanılan hammaddelere yapılacak bir değiş-tirim, özgül enerji tüketiminin artmasına neden olabilir. Örneğin, taşınmayı bastırmak için yığın bileşimine su eklenmesi veya bir hammaddenin daha az uçucu olan ancak daha yüksek bir erime sıcaklığı gerektiren başka bir hammaddeyle ikamesi doğal olarak enerji tüketiminde bir artışla sonuçlanır. Eriyik yüzeyindeki bir sıcaklık düşüşü, camın kalitesini etkileyebilir, bu da daha yüksek iskarta bitmiş ürün oranlarına ve satılabilir ürün birimi başına daha yüksek özgül enerji tüketimine yol açabilir. Uçuculuk etkisini en aza indirmek için uygulanan brülörlerin farklı bir şekilde konumlandırılması, fırının enerji verimliliğinde bir azalmaya ve bunun sonucunda yanmadan kaynaklanan özgül emisyonların artmasına neden olabilir; ek olarak, baca gazına maruz kalan refrakterlerde potansiyel hasar ile biriken tuzların buharlaşma/yoğunlaşma etkisinde değişiklik meydana gelebilir.

Akaryakıt ateşlemesinden doğal gaz kullanımına geçiş normalde NO_x emisyonlarının ve özgül enerji tüketimlerinin artmasını beraberinde getirir.

İşletim verileri

Açıklamalarda verilmiştir.

Uygulanabilirlik

Tanımlanan teknikler, genel olarak sanayiinin tüm alanları için belirli kısıtlamalar dahilinde geçerli olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, bir fırında başarıyla uygulanan teknikler, diğer fırınlarda aynı etkiyi göstermeyebilir. Elde edilen azaltma, başlangıçtaki toz emisyonu seviyesine bağlı olacaktır. Ayrıca, bu bölümde sunulan tekniklerin birden fazlasının hayata geçirilmesinin kümülatif azaltma sağlaması garanti edilemez.

Toz azaltmaya dair birincil tedbirlerin kısa ve orta vadede diğer cam türlerine kıyasla soda-kireç formülasyonları için daha etkili azaltım sağlaması muhtemeldir. Düşük veya bor içermeyen formülasyonlarla üretilen kesintisiz cam elyaf bir istisna teşkil edebilir.

Ekonomi

Birincil tekniklerin maliyetleri hakkında mevcut bilgi çok azdır, ancak sanayide bugüne kadar (2010) uygulanan tedbirlerin düşük maliyetli olduğu bildirilmiştir. Nitekim, enerji kullanımını azaltan teknikler maliyetlerden tasarruf sağlayabilir.

Birincil tedbirlerde, uygulamanın düzeyine ve zamanlamasına bağlı olarak değişen maliyetler söz konusu olabilir. Tedbirler bütün bir paket niteliğindedir; maliyetleri ve sonuçları belirleyen, bu paketin optimizasyonudur. Örneğin, düşük klorür veya doğal soda külü kullanımının, toz emisyonlarını ikincil önlemler ile kıyaslanabilir seviyelere düşürmesi olası değildir ve diğer faktörlere bağlı olarak maliyetler, faydalarla orantısız olabilir. Ancak, tedbirler paketinin bir özelliği, maliyetler ve sonuçların bir bütün olarak ele alınması gerektiğidir.

Uygulamanın itici gücü

Toz emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirlerin uygulanması, genellikle, rejeneratörlerin tıkanmasını, malzemelerin korozyonunu veya hasar görmesini önlemek, uçuculuğun azaltılması ve bunun sonucunda oluşan değerli hammadde kaybından kaçınılması vb. gibi seçilen tekniklerin uygulanmasından kaynaklanan ekonomik ve işletimsel faydalara dayanmaktadır.

Örnek tesisler

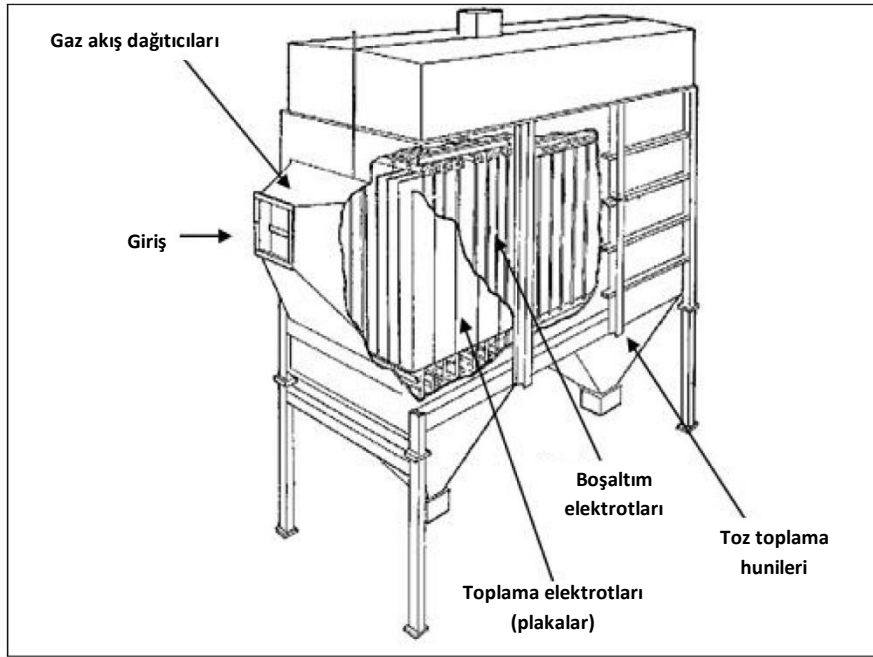
Bu bölümde açıklanan bazı birincil teknikler cam endüstrisinde yaygın uygulama görmektedir.

Referans literatür [19, CPIV 1998] [31, CPIV 1998] [103, Beerkens, Cam afınasyonu. Boron 2008]

4.4.1.2 Elektrostatik toz tutucular

Açıklama

Elektrostatik toz tutucu (ESP), çok çeşitli sıcaklık, basınç ve partikül yükü koşullarında çalışabilir. Partikül boyutuna özellikle duyarlı değildir ve hem yaş hem de kuru koşullarda partikül toplayabilir. Elektrostatik toz tutucu (ESP) bir dizi yüksek gerilim boşaltım elektrodu ve bunlara karşılık gelen toplama elektrotlarından oluşur. Parçacıklar yüklenir ve ardından elektrotların arasında oluşturulan elektrik alanın etkisiyle gaz akışından ayrılır. Elektrik alanı, yüksek voltajlı (80 kV'a kadar) küçük bir doğru akımla, elektrotlar boyunca uygulanır. Pratikte, ESP'nin Şekil 4.1'de gösterildiği gibi birkaç ayrı bölgesi bulunur (en fazla beş alan kullanılabilir).



Şekil 4.1: Elektrostatik toz tutucu

Partiküller, gaz akışından dört aşamada uzaklaştırılır:

- parçacıkların elektriklerle yüklenmesi
- parçacıkların elektrik alanı içinde hareketi
- parçacıkların toplama elektrodu üzerinde yakalanması
- parçacıkların elektrot yüzeyinden uzaklaştırılması.

Materyal birikmesini önlemek için, boşaltım elektrotlarına vurulmalı veya titreşim verilmelidir ve bunların mekanik mukavemetleri, darbeye veya iletilen titreşime uygun olmalıdır. Tek bir kopuk tel, ayırıcının tüm elektrik alanında kısa devreye sebep olabileceğinden, boşaltım elektrotlarının ve destekleyici çerçevelerinin mekanik olarak güvenilir olması gerekir. Islak ayırıcılarda, toplanan malzeme toplayıcı plakalardan genellikle su gibi uygun bir sıvı kullanılarak, aralıklı olarak ya da sürekli sulama ile uzaklaştırılır.

Bir ESP'nin performansı, toz toplama verimliliğini toplayıcı elektrotların toplam yüzey alanı, gazların hacimsel akış hızı ve partiküllerin hareket hızıyla ilişkilendiren Deutsch-Anderson denklemiyle belirlenir. Belirli bir malzeme için en önemli iki parametre, en üst düzeye çıkarılması gereken toplayıcı elektrot yüzey alanı ve elektrik alanında kalma süresidir. Ayrıca, toplayıcı elektrotlar arasındaki mesafe ne kadar fazlaysa, uygulanabilecek voltaj da o kadar yüksek olur. Bu mesafe, tedarikçinin tasarımına bağlıdır.

Giriş ve çıkış bölgelerinde uygulanan voltajın farklı olmasını sağlamak için, ESP'nin her bir bölgesi (veya bu bölgelerin her bir kısmı) için ayrı doğrultucu bölümlerinin kullanımını içeren iyi bir akım doğrultucu tasarımı gereklidir. Bu, çıkışa doğru azalan partikül yükünü hesaba katarak uygulanan voltajın giriş ve çıkış bölgelerinde farklı olmasını ve bölgelerin giderek daha yüksek voltajlarda çalıştırılmasını sağlar. Elektrotlara optimum yüksek gerilimli (HT) voltajın uygulanmasını sağlayan otomatik kontrol sistemlerinin kullanımı da tasarımın başarısını etkiler. Sabit HT güç kaynaklarının optimum toplama verimliliği sağlama olasılığı düşüktür.

Partiküllü malzemenin direnci (iletkenliğin tersi) özellikle önemlidir. Bu direnç çok düşükse, toplayıcı elektroda ulaşan parçacıklar kolayca yüklerini kaybederler ve parçacık elektrottan ayrılabilir. Partikülün direnci çok yüksek olduğunda, elektrot üzerinde elektrik deşarjını engelleyen ve toplama veriminin düşmesine yol açan bir yalıtım tabakası oluşur. Cam sanayiinde karşılaşılan çoğu partikül, doğru aralıkta bir dirence sahiptir. Gerekli olması halinde, partiküllerin, örneğin amonyak ve kükürt trioksitin

koşullandırılması ile toplama iyileştirilebilir, ancak bu genellikle cam işlemlerinde gerekli değildir. Direnç, gaz sıcaklığının düşürülmesi veya gazın nemlendirilmesi ile de azaltılabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

ESP'ler 0,1 µm ila 10 µm aralığındaki tozları toplamada çok etkilidir ve toplam toplama verimliliği %95 – 99'a kadar çıkabilir (girdi derişimine ve ESP'nin boyutuna bağılı olarak). Gerçek performans, özellikle atık gaz özellikleri ile ESP tasarımı ve yaşına bağılı olarak değişir, ancak 5 ila 10 mg/Nm³ aralığında emisyon derişimlerinin elde edilmesi mümkündür. İnşaat (alan) ve işletme (ESP'de gaz hızı) kısıtlamaları nedeniyle mevcut ESP'ler için önemli yükseltme olanakları sınırlı olabilir; ve bu durumlarda elde edilen performans muhtemelen 20 – 30 mg/Nm³ olmakla birlikte, çoğu durumda 15 mg/Nm³ emisyon derişimi değerleri elde etmek üzere yükseltme mümkündür. Önemli bir faktör olmasına rağmen, performans yalnızca uygulanan elektrik alanlarının sayısına bağılı değildir. Bir tasarıma ait iki aşamalı bir EP, farklı bir tasarıma ait veya ayrı uygulamalarda kullanılan üç aşamalı EP kadar verimli olabilir; bu seçim, istenen performans düzeyine bağılı olacaktır.

ESP'nin performansı için önemli bir faktör, filtreden önce bir kuru yıkayıcının kurulmasıdır. Elde edilecek SO_x emisyon seviyelerine bağılı olarak, sisteme eklenen alkalın miktarı çok yüksek olabilir. Baca gazındaki toz derişimi orijinal değerinin 10 katına kadar çıkabilir. Bu durumda, kuru yıkayıcı ana toz kaynağını temsil eder. Bunun sonucunda, filtrenin performansı, sisteme eklenen alkalın reaktif miktarından etkilenebilir.

ESP'lerin performansına özgü endişelere örnek olarak, baca gazında daha yüksek düzeyde azaltma gerektirebilecek ağır metallerin mevcudiyeti verilebilir. Yüksek performanslı bir filtre, bor dâhil metal emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Bununla birlikte, bor bileşikleri içeren baca gazları için, filtrenin konumlandırılması ve dolayısıyla borik asit yoğunlaşmasının filtreden önce veya sonra gerçekleşip gerçekleşmemesi, ESP'lerin ergitme fırınından kaynaklan tozu toplamadaki verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir (bkz. Bölüm 4.4.1.1).

Ortamlar arası etkiler

Elektrostatik toz tutucu kullanımı, enerji tüketiminde artışa neden olmakla beraber, bu artış %1'in altındadır ve fırının enerji tüketimine kıyasla azdır (enerji maliyetinin % 1 ila 3'üne denk gelir). Elektrik üretim noktasında bununla ilgili olarak ortaya çıkan çevresel etkiler, elektriğin kaynağına bağılı olacaktır. Elektrik kullanımıyla ilişkili dolaylı emisyonların, kurulumun kapasitesine bağılı olarak ton erimiş cam başına 8 – 17 kg CO₂, ton erimiş cam başına 0,02 – 0,04 kg NO_x ve ton erimiş cam başına 0,06 – 0,14 kg SO₂ aralığında olduğu tahmin edilmektedir (özel tahmini veriler için ayrıca bkz. 8.1.7, Tablo 8.7). Ek dolaylı emisyonlar, yıkama işlemi için kullanılan alkali reaktiflerin üretimi ile ilişkilidir (bkz. 4.4.1.3). Cam sanayiinde gerçekleştirilen birçok uygulamada, arıtmadan önce asit gazlarının giderilmesi gerekecektir. Bu genellikle, azaltılmış tozdan on kat daha fazla katı malzeme akışına sebep olan kuru veya yarı kuru yıkama ile gerçekleştirilir. Bu katı madde akışının fırına geri dönüştürülmesi halinde, hammadde tüketimi genel olarak azalacaktır. Aksi takdirde ise bertaraf edilmesi gereken bir atık akışı ortaya çıkacaktır.

Pratikte, toplanan toz çoğu durumda geri dönüştürülebilir ve seçilen emici maddeye bağılı olarak, diğer hammaddelerin, özellikle sodyum sülfatın (ve uygun yerlerde florür ve kurşun içeren malzemelerin) bir kısmının yerini alabilir. Sülfat gereksinimlerinin düşük olabileceği cam ambalaj sektöründe yüksek cam kırığı miktarları nedeniyle ve kükürt çözünürlüğünün çok düşük olabileceği indirgenmiş camlar için sorunlar meydana gelebilir.

Özellikle yüksek kükürt içerikli fuel oil kullanılıyorsa, tozun geri dönüşüm potansiyeli sınırlanabilir ve toplanan tozun bir kısmının tesis dışı bertarafı gerekir. Farklı tip ve/veya renklerde cam üreten birden fazla fırın tek bir ESP'ye bağlanırsa başka bir sorun ortaya çıkabilir. Bazı sektörlerde, toplanan tozun geri dönüşüm kapasitesi, ürün kalitesine dair kısıtlamalar ve camın kimyası nedeniyle, örneğin çok yüksek optik kalite gereksinimi halinde, sınırlı olabilir. Rejeneratörlerde ciddi taşınmaya ve tıkanmaya neden olabilecek ince toz nedeniyle, kuru harman ön ısıtma uygulandığında filtre tozunun geri dönüşüm olasılığına ilişkin ek sınırlamalar mevcuttur.

Normalde atık gazların sodyum bazlı soğurma maddeleri ile işlenmesinden kaynaklanan yüksek derişimlerde NaCl içeren filtre tozunun geri dönüşümü, sıcaklığa ve tuğla bileşimine bağlı olarak yanma odasındaki ve/veya rejeneratörlerdeki refrakterlere zarar verebilir.

Bir işletmecinin bertaraf için katı atık akışı oluşturmak yerine yakıtları değiştirmesinin daha uygun olup olmayacağını değerlendirmek amacıyla birçok durumda (özellikle cam ambalaj), geri dönüştürülemeyen tozun bertaraf maliyetleri (artığın sınıflandırılması maliyeti dahil) ve daha düşük kükürtlü yakıtların (örn. düşük kükürtlü petrol veya doğal gaz) maliyetlerinin karşılaştırılması gerekebilir. Asit gazı yıkama aşamasının ana amaçlarından biri, genellikle korozyondan kaçınmak üzere gazı ESP için şartlandırmaktır; bu da genel asit gazı emisyonlarının azalması ile sonuçlanır. Filtre tozu geri dönüştürülürse, kükürt girişi ve çıkışı arasında dinamik bir denge oluşacaktır.

Cam sanayiinde salınan partikül maddenin büyük bir kısmı reaktif buharlaşma yoluyla oluşur. Bu nedenle, gaz akımının türe bağlı olarak değişen partikül oluşum sıcaklığının altında kalmasını sağlamak önemlidir. Soda-kireç silika cam üretiminden kaynaklanan tozun ana bileşeni, oluşum sıcaklığı ≈ 800 °C olan sodyum sülfattır; borosilikat camlar için ise, bor türlerinin tam yoğunlaşması 200 °C'nin oldukça altında gerçekleşebilir.

Rejeneratif fırınlarda, atık gaz sıcaklığı genellikle 400 °C civarındadır ve uçucu maddeleri yoğunlaştırmak veya ESP çalışma limitlerine ulaşmak için genellikle soğutma gerekli değildir. Reküperatif fırınlarda ise atık gaz sıcaklığı genellikle 800 °C civarındadır ve hem partikülleri yoğunlaştırmak hem de gazı ESP çalışma sınırlarına getirmek için soğutma gereklidir. Daha önce belirtildiği gibi, bor içeren camlar (örn. cam yünü, kesintisiz cam elyaf) için, azaltma öncesinde gaz sıcaklığının 200 °C'nin altına getirmek ve bunu yaparken aynı zamanda sistemde yoğunlaşmayı ve buna bağlı korozyon riskini en aza indirmek gerekli olabilir. Oksi-fuel fırınlardan çıkan atık gaz sıcaklığı genellikle 1000 °C'nin üzerindedir ve önemli ölçüde soğutma gereklidir.

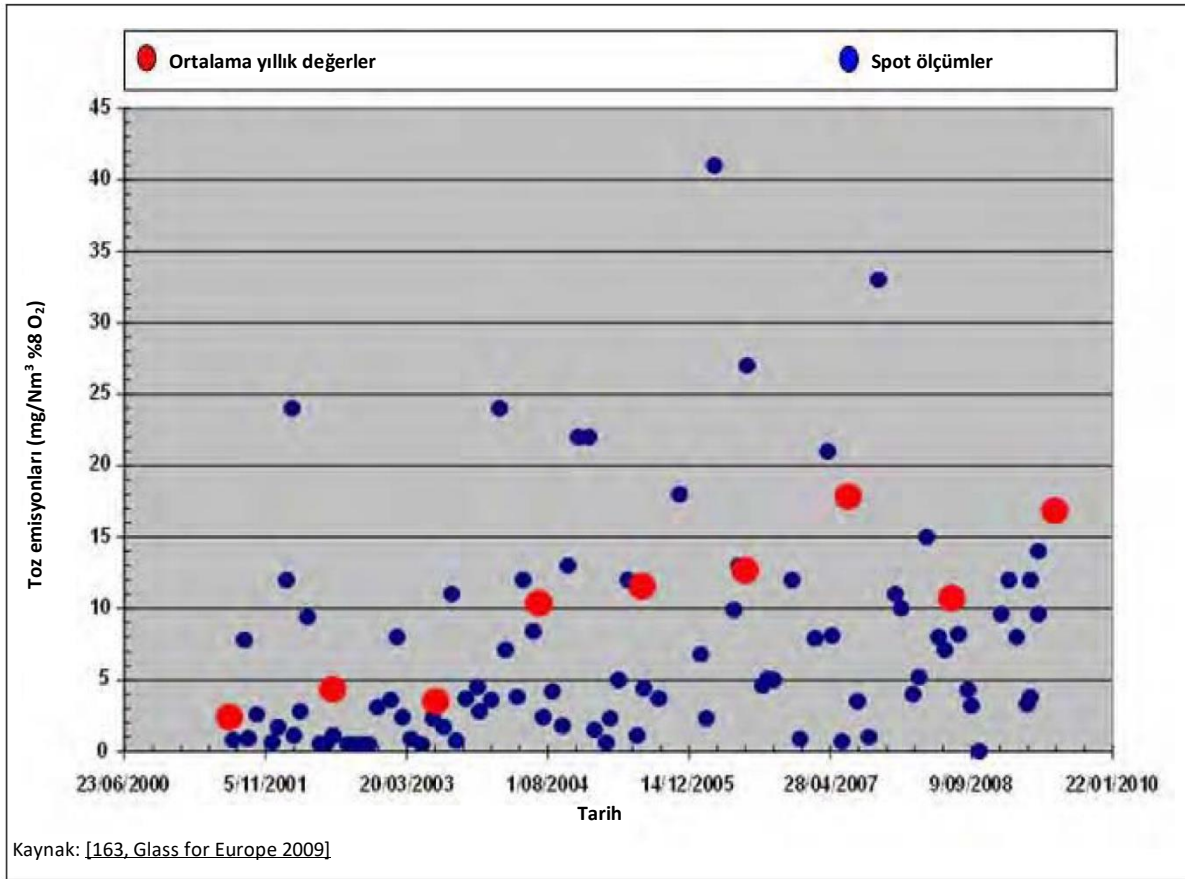
ESP'lerin kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.6'da sunulmaktadır.

Tablo 4.6: Elektrostatik toz tutucularların temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u> • Yüksek toz giderme verimliliği • Tozun genellikle yeniden kullanıma izin verecek şekilde toplanması • Torbalı filtreler göre az basınç düşüşü, buna bağlı olarak nispeten düşük işletme maliyetleri • Yıkayıcılar ve SCR gibi sistemlerle birlikte entegre arıtma sistemlerinin bir parçasını oluşturabilir • ESP'ler yüksek yük veya nem içeriği gibi nedenlerle kolaylıkla tıkanmaz, ancak bu torba filtrelerde sorun yaratabilir. • Genel olarak (cam sanayii ile sınırlı olmamak üzere), yüksek sıcaklıkta çalışma konusunda torbalı filtrelerle kıyasla daha fazla deneyim elde edilmiştir • İlerleyen tarihlerde daha fazla alan eklenmesine izin verecek şekilde tasarlanabilir <u>Dezavantajlar:</u> • Enerji kullanımı. Filtreyi çalıştırmak için kullanılan enerji, toplam fırın enerjisine (<%1) kıyasla nispeten düşük olmasına rağmen, daha ucuz olan fosil yakıt yerine elektrik kullandıkları için maliyetler daha önemli bir faktördür. Ayrıca, elektrik kullanımıyla ilişkili dolaylı emisyonlardan (elektrik santralindeki CO₂ ve diğer emisyonlar) kaynaklanan bir etki olacaktır • Meydana gelen katı akışının geri dönüşümü her zaman mümkün değildir • Birçok işlem asit gazı yıkamayı gerektirir ve bu durumlarda emici madde tüketilir • Dolaylı emisyonlar, alkali reaktiflerin kullanımı ile ilişkilidir (malzemenin üretim döngüsü) • ESP'ler torba filtreler gibi diğer sistemlere göre daha yüksek sermaye maliyetleri olabilir • Tesisteki işlemlerin tasarım koşullarında sürdürülmesi kritik önem taşır, aksi takdirde performans önemli ölçüde düşebilir • Yüksek voltajlı ekipmanların kullanımında güvenlik önlemlerine uyulmalıdır • ESP'ler çok büyük olabilir ve alan gereksinimi dikkate alınmalıdır

İşletim verileri

Bir hava kirliliği kontrol sisteminden geçmiş temiz gazlardaki ortalama toz derişimi genellikle düşüktür. Uygulamaların çoğunda, iyi tasarlanmış, iki ya da üç aşamalı bir ESP'nin 10 mg/Nm³ altında ve ton ergitilen cam başına 0,03 kg'ın altında emisyonlara ulaşabileceği beklenebilir. Bununla birlikte, toz azaltma verimliliği zamana ve işletim koşullarına göre değişebilir. Örnek olarak, Şekil 4.2, ESP ile donatılmış ve Ca(OH)₂ kullanılan bir kuru yıkama aşaması ile çalışan, petrol yakıtlı bir düz cam fırında aylık olarak yapılan toz emisyonları spot ölçümlerinin sonuçlarının değişkenliğini göstermektedir. Örnekte, ortalama yıllık değerler (kırmızı noktalar) genellikle 10 mg/Nm³'ün altındadır, ancak spot ölçümler (mavi noktalar) 30 mg/Nm³'e kadar çıkabilir. Bu varyasyonlar filtrenin işleyişinden kaynaklanmaktadır, ancak aynı zamanda proses değişkenlerine (örneğin, ergitme hızı ve cam tipi değişiklikleri) bağlı giriş gazı özelliklerinin (sıcaklık, toz bileşimi, vb.) varyasyonuna da bağlı olabilir. Bu, toz derişimlerinin geçici bir artış gösterebileceği plaka temizleme işlemleri sırasında da geçerlidir. Birçok uygulamada ESP'ler, uygun koşullar veya yüksek verimli tasarımların kullanılması sayesinde bu seviyelerin altındaki rakamlara dahi ulaşabilir. Bir takım tesiste ESP'ler için 5 mg/Nm³'ün altında emisyon seviyeleri ölçülmüştür, öte yandan, uygun koşulların mevcut olduğu durumlar haricinde, bu seviyedeki performansın garanti edilmesi için genellikle bu bölümde tanımlananlardan daha yüksek maliyetler gerekli olacaktır. Değişimli ateşleme çevrimli rejeneratif fırınlarda, temsil eden verinin her zaman iki veya daha fazla ateşleme çevriminde üretilen emisyon değerlerinin ortalaması olması gerektiğine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.2: ESP ve Ca(OH)_2 kullanılan kuru yıkama ile donatılmış petrol yakıtlı düz cam fırınından kaynaklanan toz emisyonlarının sonuçları (aylık spot ölçümler)

ESP uygulaması, özellikle yüksek üretim kapasiteli (yüksek baca gazı hacmi) ve/veya birden fazla fırınlı tesislerde yaygındır.

Bu yazının yazıldığı tarihte (2010), birçok büyük fırın/tesisat sürekli partikül veya opaklık izleme ile donatılmıştı.

Bir ESP'den en iyi performansı almak için, ünitiden geçen gaz akışının homojen olması ve gazın tamamının elektrik alanından geçmesi önemlidir. Giriş ağızlığının içerisinde bulunan akış dağıtım cihazları ve giriş kanalının doğru tasarımı, toz tutucunun girişinde homojen hava akışı sağlamalıdır. Genel olarak, işletim sıcaklığı $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında tutulmalıdır. Bir ESP'nin performansı, çalışma süresi uzatıldıkça azalacaktır. Elektrotlar parçalanabilir, hizaları kayabilir veya pulla kaplanabilir; ve düzenli bakım özellikle eski ekipman için gereklidir.

Gaz akımının önemli derişimlerde asit gazı içerebildiği uygulamalarda (özellikle SO_x , HCl ve HF), genellikle ESP'den önce bir çeşit asit gazı yıkama uygulanması gerekli olarak değerlendirilir. Bu genellikle kalsiyum hidroksit, sodyum karbonat veya sodyum bikarbonat kullanılan kuru veya yarı kuru yıkamadır. Bu teknikler 4.4.3.3 kısmında ele alınmaktadır.

Cam kırıklarından, hammaddelerden ve yanmada kullanılan fuel oildeki kükürt içeriğinden asit gazları ortaya çıkar; bu asit gazları uzaklaştırılmadığı takdirde ESP'de ciddi korozyon sorunları meydana gelebilir. Bazı bor içeren camlarda alkaliler, uçucu bor bileşiklerinin çökmesine de yardımcı olur. Atık gazlar yüksek seviyelerde asit gazlar içermiyorsa (yani gaz ateşleme ve düşük kükürtlü hammaddeler) çoğu cam yünü işleminde olduğu gibi, ön arıtmaya ihtiyaç olmayabilir.

Düz cam ve cam ambalaj sektörlerinde, asit gaz yıkama sistemi ile ESP'nin birlikte kullanımıyla ilişkili toz emisyonları $10 - 20\text{ mg/Nm}^3$ aralığındadır. Bu değerler, sönmüş kireçli ve %25 – 33 aralığında

nispeten düşük SO_x giderme verimine sahip kuru yıkama sistemleri için, fakat aynı zamanda alkali reaktifin, yıkama sisteminin tipi, baca gazı sıcaklığı ve baca gazlarında mevcut olan $SO_x + HCl + HF$ 'ye karşı enjekte edilen reaktifin molar oranına (bkz. 4.4.3.3) bağlı olarak %50 – 95 aralığında daha iyi SO_x giderme verimleri ile çalıştırıldığında gözlenir. Filtre sistemi tarafından üretilen toz miktarı, asit gazları için istenen giderme verimliliğine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Ortaya çıkan katı atık akımı, ya toz harman formülasyonuna geri dönüştürülerek ya da katı atıklar atık sahasına gönderilerek idare edilmelidir (bkz. 4.4.3.3 ve 4.7).

Elektrostatik toz tutucuların kullanımıyla ilişkili bazı toz emisyon seviyeleri örnekleri Tablo 4.7'de sunulmuştur.

Tablo 4.7: Örnek kurulumlarda ESP'lerin kullanımıyla ilişkili toz emisyon seviyeleri

Üretim	Yakıt/ergitergitme tekniği	Toplam üretim	ESP özellikleri	Toz emisyonları İES'leri ^{(1) (2)}	
		Ton/gün		mg/Nm ³ , %8 O ₂ 'de kuru gaz	kg/t cam
Cam ambalaj					
Yeşil/beyaz soda-kireç	Doğalgaz	470	1 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	17 ⁽³⁾	0,027
Soda-kireç	Doğalgaz	640	5 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	7,6	0,016
Renksiz cam	Doğalgaz	275	3 alan-yıkama sistemi yok	23,8	0,037
Bal rengi	Fuel oil + doğal gaz	297	2 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	1.2	0,0019
Beyaz/bal rengi	Fuel oil	547	2 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	18	0,027
Zümrüt yeşili/UV yeşili	Doğalgaz	367	2 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	27	0,040
Düz cam					
Beyaz/renkli	Fuel oil	259	2 alan-NaHCO ₃ kullanılan kuru yıkama	3,0	0,0048
Beyaz	Fuel oil + doğal gaz	700	4 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	1,5	0,0031
Beyaz	Doğalgaz	600	3 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	30	0,084
Cam ev eşyaları					
Belirtilmemiş	Fuel oil	110	Belirtilmemiş	16,5	0,034
Özel cam					
Belirtilmemiş	Fuel oil + doğal gaz	170	2 alan-Ca(OH) ₂ kullanılan kuru yıkama	20	0,127
⁽¹⁾ Emisyon seviyeleri, süresiz ölçümlerin (30 - 60 dakika) ortalama değerlerini temsil eder.					
⁽²⁾ Düşük derişim değerleri için, normalde ölçüm yönteminin belirsizliği ölçülen değerle aynı büyüklük mertebesinde (bkz. Bölüm 8.3.2).					
⁽³⁾ Sürekli ölçümlerin aylık ortalama değeri.					
Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [84-İtalya-Rapor 2007] [86, Avusturya cam ambalaj tesisleri 2007] [120, CTCV 2009]					

Uygulanabilirlik

Prensip olarak, bu teknik her cam sektöründeki tüm yeni ve mevcut fırınlarda uygulanabilir. Mevcut kurulumlarda, filtrenin ek alanlarla geliştirilmesi, ancak ergitme fırını onarımdayken, gerekli alanın mevcut olması koşuluyla gerçekleştirilebilir. Benzer şekilde, bir ESP kurulumunun genellikle bir soğuk onarım veya fırın(lar)ın yenilenmesi sırasında gerçekleştirilmesi gerekir.

Sistemin yüksek performansını sağlamak için ESP'nin düzenli bakımı önemlidir.

ESP'ler, baca gazında mevcut karbon monoksit ile ilişkili patlama riskinden dolayı taş yünü kupol ocaklarında kullanılmaz.

Ekonomi

ESP maliyetlerini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- atık gaz hacmi
- gerekli verim
- alan sayısı
- atık gazın şartlandırılması
- asit gaz yıkama gerekiyorsa, yıkayıcı ve temizleme maddesinin verimliliği (sönmüş kireç, sodyum hidrojen karbonat, sodyum karbonat)
- tesis özellikleri (alan mevcudiyeti, yerleşim düzeni, gerekli saha hazırlığı, vb.)
- enerji, elektrik, su ve iş gücü maliyetleri
- toz bertaraf maliyetleri (geri dönüşümü mümkün değilse).

İkinin üzerinde her bir ek elektrik alanı, sermaye maliyetlerini yaklaşık %10 – 15 oranında artıracaktır, ancak yıkayıcı ve işletme maliyetleri dâhil olmak üzere bütün hava kirliliği kontrol (APC) sistemlerinin toplam artışı yalnızca yaklaşık %5'tir.

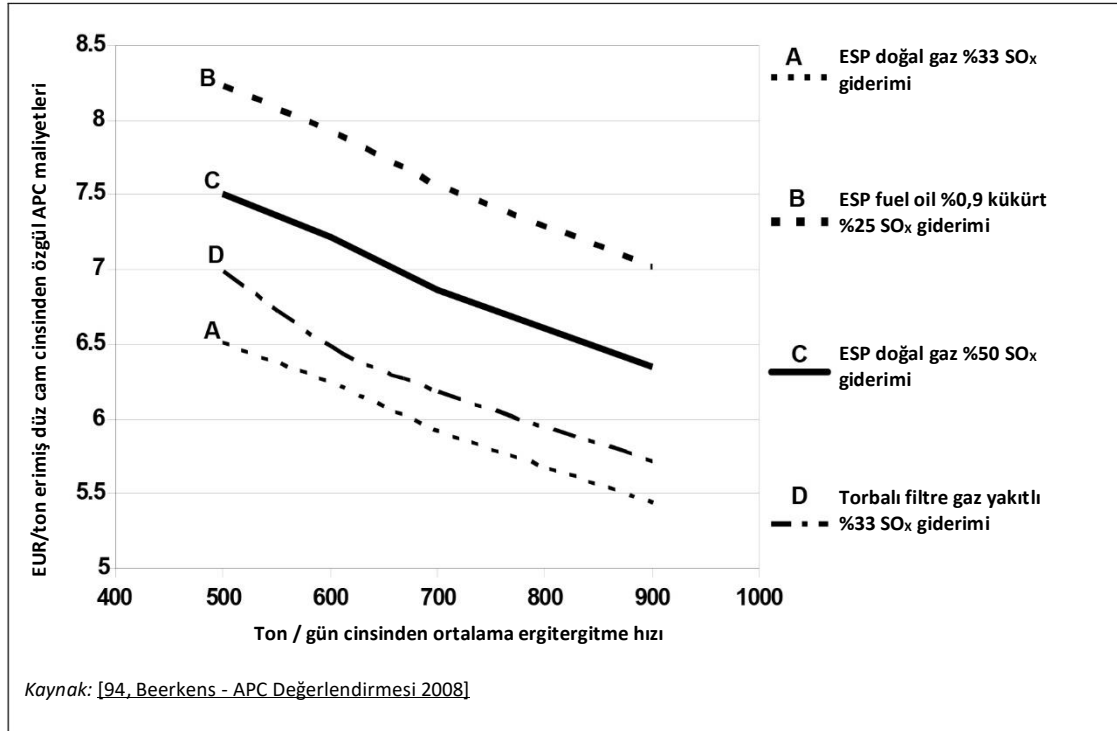
ESP'lerin kurulumuyla ilgili maliyetlerin, özellikle alan kısıtlamalarının olduğu ve filtrenin nispeten uzun mesafelerdeki konumunun ek boru tesisatı (genellikle yalıtılacak) gerektirdiği durumlarda, mevcut tesisler için yeni tesislere göre daha yüksek olması muhtemeldir.

Bununla birlikte, elektrikli fırınlar ve daha küçük konvansiyonel fırınların (günde 200 tondan az) yüksek sermaye maliyetleri, işletimcilerin özellikle torbalı filtreler gibi alternatif teknikleri tercih etmesine yol açabilir.

Daha küçük üretimler ve fuel oil yakıtlı fırınlar için özel maliyetler önemli ölçüde daha yüksek olabilir, ancak bu aynı zamanda elde edilecek SO_x gideriminin derecesine de bağlıdır. Örnek olarak, Şekil 4.3, filtreleme ve Ca(OH)₂ kullanılan kuru yıkamadan oluşan hava kirliliği kontrol sistemlerinin, yüzdürme cam fırınları ile ilgili dört farklı durumla ilişkili olarak, ergitme hızına bağlı ve filtre tozunun tümünden bertarafının varsayıldığı özgül maliyetlerini göstermektedir.

Maliyet tahmini, aşağıdaki ulaşılabilir emisyon seviyelerine dayanmaktadır:

- toz emisyonları, ESP'nin tasarımına ve çalışmasına bağlı olarak 5 ila 10 mg/Nm³ aralığına inebilecek değerlerle 10 – 20 mg/Nm³ aralığında kabul edilir (örn. elektrot plakalarından bırakıntı katmanlarının çıkarılmasıyla ilişkili geçici olarak daha yüksek değerler);
- % 25 – 33 aralığında sınırlı bir SO_x emisyon giderimi, sönmüş kireç ile kuru yıkama sisteminin kullanıldığı standart işletim koşulu olarak alınır.



Şekil 4.3: Ergitme hızına bağlı olarak, yüzdürme cam fırınları için, filtre tozunun tümünden bertarafını içeren, kuru yıkama ve filtre kullanımıyla hava kirliliği kontrolünün ton erimiş cam başına özel maliyetleri

8.1'de raporlanan metodolojiye dayanarak, maliyet verileri, farklı fırın kapasiteleri ve SO_x emisyon giderimi verimleri için; ve filtre tozunun tümünden geri dönüşümü veya bertarafı değerlendirilerek tahmin edilmiştir. Veriler, gerçek maliyetlere (ör. tedarikçilerden alınan fiyatlar) ve hesaplanan değerlere [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] dayanmaktadır.

Gazla çalışan fırınlar için 800 – 1000 mg/Nm³ SO_x ve fuel oil ile çalışan fırınlar için 1800 – 2000 mg/Nm³ SO_x eşdeğerinde tipik başlangıç emisyon seviyeleri için, ve sönmüş kireçle kuru yıkama koşulları altında elde edilen yaklaşık %30'luk sınırlı SO_x emisyon giderimi varsayılarak, aşağıda verilen maliyet verileri tahmin edilmiştir.

Yüzdürme cam üretimi

- Bir hava kirliliği kontrol sistemi (ESP + kuru yıkama aşaması) için toplam yatırım maliyeti, fırının boyutuna bağlı olarak (500 – 900 ton/gün) 3,9 ile 5,5 milyon Avro arasında değişebilir.
- İşletme maliyetleri, filtre tozunun tamamen geri dönüştürülmesi durumunda yıllık 375000 ile 575000 Avro arasında, ve filtre tozunun tamamen atılması durumunda ise yıllık 685000 ile 1140000 Avro arasında değişmektedir.
- Filtre tozu tamamen fırına geri dönüştürüldüğünde, özgül maliyetler ton erimiş cam başına 3,9 ile 4,8 Avro arasında değişebilir; düşük değer daha büyük fırınlarla (900 t/d) ve yüksek değer daha küçük fırınlarla (450–500 t/gün) ilişkilidir. Filtre tozunun tamamen bertaraf edilmesi durumunda, ton erimiş cam başına özgül maliyetler yaklaşık 1,5 – 2 Avro daha yüksektir. Daha fazla sönmüş kireç eklenmesiyle elde edilen daha yüksek SO_x giderme verimliliği (yaklaşık %50), filtre tozunun tamamen atılması durumunda, gazla çalışan fırınlar için ton erimiş cam başına 1 Avro ve petrolle çalışan fırınlar için ton erimiş cam başına 2,5 Avro ek maliyete neden olacaktır. Filtre tozunun tamamen fırına geri dönüştürülmesi halinde, özgül maliyet artışı çok daha düşük olur (bir ton erimiş cam için yaklaşık 0,2 – 0,3 Avro).

- Giderilen kg kirlletici başına özgöl maliyetler, fırının kapasitesine ve çalışma koşullarına bağlı olarak, giderilen her kg toz başına 9 ila 15 Avro ve giderilen her kg SO₂ için 0,45 ila 0,7 Avro arasında değişebilir.

Cam ambalaj üretimi

- Bir hava kirliliği kontrol sistemi (ESP + kuru yıkama aşaması) için toplam yatırım maliyeti, fırının boyutuna bağlı olarak (133 – 560 ton/gün) fırın başına 2,2 ile 4,7 milyon Avro arasında değişebilir. Pratikte, cam ambalaj sektöründe hava kirliliği kontrol sistemleri sıklıkla birden fazla fırından çıkan atık gazları arıtmaktadır.
- İşletme maliyetleri yıllık 166000 ile 673000 Avro arasında değişebilir, düşük değer gazla çalışan fırın ve filtre tozu geri dönüşümüyle ilişkili olup, daha yüksek değer filtre tozunun tamamen atıldığı, petrolle çalışan bir fırınla ilişkilendirilir.
- Ton erimiş cam başına özgöl maliyetler, düz cam üretimi için belirtilen değerlerle karşılaştırılabilir.
- Özgöl maliyetler, tesisin kapasitesine ve çalışma koşullarına bağlı olarak, giderilen her kg toz başına 10 ila 24 Avro ve giderilen her kg SO₂ için 0,5 ila 1,2 Avro arasında değişebilir.

Cam ev eşyası üretimi

- Bir hava kirliliği kontrol sistemi (ESP + kuru yıkama aşaması) için toplam yatırım maliyeti, fırının boyutuna bağlı olarak (35 – 180 ton/gün) 1,2 ile 2 milyon Avro arasında değişebilir.
- İşletme maliyetleri yıllık 43 500 ile 247 000 Avro arasında değişebilir, düşük değer gazla çalışan küçük boyutlu fırın (35 ton/gün) ve filtre tozu geri dönüşümüyle ilişkili olup, daha yüksek değer filtre tozunun tamamen atıldığı, gazla çalışan daha büyük bir fırınla (180 ton/gün) ilişkilendirilir.
- Ton erimiş cam başına özgöl maliyetler, cam ambalaj sektörüne göre çok daha yüksek olabilir. Büyük ölçüde fırının boyutuna bağlı olarak tahmin edilen değerler, ton erimiş cam başına 7,7 ile 16,7 Avro arasındadır.
- Özgöl maliyetler, tesisin kapasitesine ve çalışma koşullarına bağlı olarak, giderilen her kg toz başına 20 ila 44 Avro ve giderilen her kg SO₂ için 1 ila 2,2 Avro arasında değişebilir.

8.1.7'deki Tablo 8.7'de, maliyet verisinin tahmininde kullanılan metodoloji, ESP'lerin kuru yıkama sistemleriyle birlikte cam ergitme fırınlarının baca gazlarına uygulanmasına dair tahmini maliyetlerin bir özetiyle birlikte gösterilmektedir. APC'ye ilişkin veri 2007 öncesine ait olup, 2007 ve 2008'de uygulanan sistemler sunulmuştur.

Yukarıda verilen rakamlar, tesise özgü bazı faktörlere bağlı olarak sermaye ve işletme maliyetleri için sırasıyla artı-eksi % 15 ve % 30 oranında değişebilir. Asit gazı yıkama gerektirmeyen tesisler için sermaye maliyetleri yaklaşık % 15 – 20, işletme maliyetleri ise % 30 – 40 daha az olacaktır.

Altyapı maliyetleri, ESP'nin boyutuna ve her bir kurulum için yerel koşullara bağlı olarak değişecektir (ESP'ye bağlı fırınların sayısı ve fırınlardan ESP'ye olan mesafeler dahil). Yukarıda bahsedildiği gibi, ESP'ler oldukça büyük olabilir ve mevcut tesislerde, alanın kısıtlı olduğu yerlerde önemli inşaat çalışmaları gerekli olabilir.

Farklı işletim koşulları altında farklı cam türleri (cam ambalaj, düz cam, özel cam ve mineral yün) üreten örnek tesislere ilişkin gerçek maliyet verilerinin bir özeti Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Düz cam, cam ambalaj, özel cam ve mineral yün cam imalatına uygulanan elektrostatik toz tutucuların fiili maliyet örnekleri özeti

	Düz cam ⁽¹⁾	Düz cam ⁽²⁾	Cam ambalaj ⁽³⁾	Özel cam ⁽⁴⁾	Cam yünü ⁽⁵⁾
Fırın tipi	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	Yüzdürme, yandan ateşlemeli	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	Oksi-yakıt ateşlemeli
Yakıt	Fuel oil	Doğalgaz + hafif fuel oil	Doğalgaz	Doğalgaz + hafif fuel oil	Doğalgaz
Fırın kapasitesi	350 ton/gün	800 ton/gün	350 ton/gün	220 ton/gün	206 ton/gün
Gerçek ergitme hızı	259 ton/gün	700 ton/gün	275 ton/gün	170 ton/gün	199 ton/gün
Elektrikle destekleme	Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Cam türü	Beyaz, ekstra beyaz, bronz, sarı	Beyaz	Renksiz cam	Borosilikat cam tüpler	C-cam
Kırık	% 30	% 35	% 60	% 25	% 66
Özgül enerji tüketimi	5,71 GJ/t cam	5,20 GJ/t cam	3,78 GJ/t cam	16,44 GJ/t cam	3,55 GJ/t cam
ESP alanları	2	4	3	2	2
Filtreden önceki sıcaklık	300 °C	300 °C	200 °C	350 °C	Mevcut değil
Emici türü	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂	Yok ⁽³⁾	Ca(OH) ₂	Yok
Emici miktarı	55 - 80 kg/s ⁽⁶⁾	15 kg/s		22 kg/s	
Harman formülasyonunda filtre tozunun yeniden kullanımı	% 100	% 100	% 100	% 0	% 100
Havalandırıcı dâhil ESP için enerji tüketimi	125 kWs/s	320 kWs/s	194 kWs/s	250 kWs/s	Mevcut değil
Servis sıklığı	Yıllık	Yıllık	Gereklikçe	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Maliyet verileri⁽⁷⁾					
Yatırım maliyetleri	2,2 milyon Avro	2,5 milyon Avro	1,5 milyon Avro	2,8 milyon Avro	0,91 milyon Avro ⁽⁸⁾
Amortisman süresi	10 yıl	10 yıl	10 yıl	10 yıl	8 yıl
İşletme maliyetleri	EUR/yıl 205000	EUR/yıl 238000	EUR/yıl 120000	EUR/yıl 275000	Avro/yıl ⁽⁸⁾ 60000
Yıllık amortisman maliyetleri	EUR/yıl 292600	EUR/yıl 331500	EUR/yıl 199500	EUR/yıl 372400	EUR/yıl 158750
Yıllık maliyetler toplamı	EUR/yıl 497600	EUR/yıl 569500	EUR/yıl 319500	EUR/yıl 647400	EUR/yıl 218750
Ton cam başına tahmini maliyetler	5,26 EUR/ton cam	2,23 EUR/ton cam	3,18 EUR/ton cam	10,4 EUR/ton cam	3,01 EUR/ton cam ⁽⁸⁾
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)					
	Yarım saatlik ortalama değerler	Yarım saatlik ortalama değerler	Yarım saatlik ortalama değerler	Yarım saatlik ortalama değerler	Ölçülen veriler mevcut/erişilebilir değil
mg/Nm ³ , % 8 O ₂ içeren kuru gaz	Toz: 3,0 SO _x : 1150 HCl: 7,0 HF: 3,7	Toz: 1,5 SO _x : 1327 HCl: 25 HF: 0,5	Toz: 23,8 SO _x : 386 HCl: 4,8 HF: 3,0	Toz: 20 SO _x : ihmal edilebilir HCl: 9 HF: 4	Toz: <5 SO _x : ihmal edilebilir HCl: <1 HF: <1
kg/t cam	Toz: 0,0048 SO _x : 2,78 HCl: 0,017 HF: 0,009	Toz: 0,0031 SO _x : 2,72 HCl: 0,051 HF: 0,001	Toz: 0,037 SO _x : 0,60 HCl: 0,0075 HF: 0,005	Toz: 0,127 SO _x : ihmal edilebilir HCl: 0,057 HF: 0,015	Toz: <0,01 SO _x : ihmal edilebilir HCl: <0,0015 HF: <0,0015
⁽¹⁾ Kurulum, ESP'den önce ve sonra bir ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır. ⁽²⁾ Kurulum bir ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır. ⁽³⁾ Kurulum bir harman ön ısıtıcısı ile donatılmıştır. ⁽⁴⁾ Kurulum, NO_x giderimi için SCR tekniği ile donatılmıştır. ⁽⁵⁾ Emisyon verileri, benzer tesislerde gerçekleştirilen ölçümlere dayalı olarak beklenen seviyeleri göstermektedir. ⁽⁶⁾ Emici miktarı üretilen camın tipine bağlıdır. ⁽⁷⁾ Maliyet verileri, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir. ⁽⁸⁾ 150-250 t/gün fırın kapasitesi için güncel maliyet verileri (2008) aşağıdaki gibidir: yatırım maliyetleri: 1,5 milyon ila 2,0 milyon Avro, işletme maliyetleri: Yıllık 80000 - 200000 Avro, özel maliyetler: Ton erimiş cam başına 4,5 - 5,5 Avro. Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Endüstrisi raporu 2007] [115, EURIMA-ENTEC Maliyet değerlendirmesi 2008]					

Uygulamanın itici gücü

Genel olarak, tekniğin uygulamaya geçirilmesinin en önemli itici gücü yasal emisyon limitlerine ulaşılmasıdır.

Toz azaltma kurulumu için bir başka itici faktör, genellikle katı bir reaktifin kullanımını ve yüksek partikül emisyonlarının üretimini gerektiren, metal emisyonlarını ve/veya gaz emisyonlarını (SO_x , HF, HCl, vb.) azaltma gerekliliğidir.

Örnek tesisler

Cam endüstrisinde başarıyla kullanılan birçok ESP örneği vardır; diğer Avrupa ülkeleriyle birlikte Almanya'da 90'dan ve İtalya'da 40'tan fazla fırın, asit gaz yıkamayı da içermek üzere ESP'lerle donatılmıştır. ESP'ler cam endüstrisinde kullanılan en yaygın filtredir; bu teknik, sanayide özellikle büyük ölçekli cam kurulumları için tercih edilmiştir.

2007'de, tüm yüzdürmeli fırınların %60'ından fazlası bir elektrostatik toz tutucu ile donatılmıştı. 2005 yılından bu yana, mevcut düz cam kurulumları, fırının soğuk onarımı sırasında azaltma sistemi ile donatılmıştır.

Referans literatür

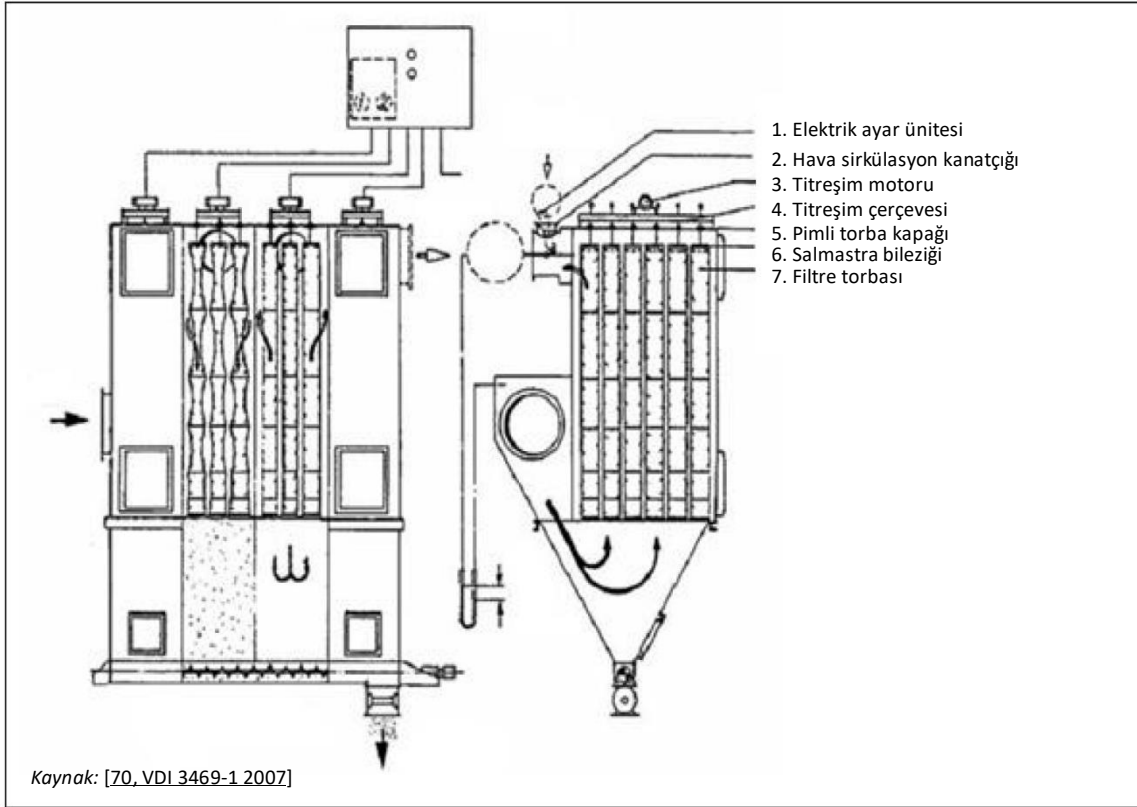
[33, Beerens 1999] [64, FEVE 2007] [94, Beerens - APC Değerlendirmesi 2008] [75, Almanya- HVG Cam Sanayii raporu 2007]

4.4.1.3 Torbalı filtreler

Açıklama

İnce partikül maddeyi kontrol etmedeki yüksek verimlilikleri nedeniyle, cam sanayiindeki birçok uygulamada torba filtre sistemleri kullanılmaktadır. Cam ambalaj baca gazı filtrasyonunda kullanımları, modern ve güvenilir kumaşlar ve kontrol sistemleri sayesinde artık daha yaygınlaşmıştır. Ancak, bazı durumlardaki körelme potansiyelleri nedeniyle, tüm uygulamalarda tercih edilmezler. Pek çok durumda, bu zorluklara yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak bunlar maliyetli olabilir.

Torbalı filtrelemenin temel prensibi, kumaş membranın gazı geçirecek ancak tozu tutacak şekilde seçilmesidir. Başlangıçta toz hem yüzeydeki lifler üzerinde hem de kumaşın derinlerinde birikir, ancak yüzey tabakası oluştuğunda baskın filtre ortamı haline gelir. Filtre keki kalınlaştıkça, gaz akışına karşı gösterdiği direnç artar ve filtrede basınç düşüşünü kontrol etmek için filtre ortamının periyodik olarak temizlenmesi gerekir. Gaz akış yönü, torbanın içinden dışarıya veya torbanın dışından içeriye doğru olabilir (bkz. Şekil 4.4).



Şekil 4.4: Torbalı (kumaş) filtre şeması

En yaygın torbalı filtre temizleme yöntemleri arasında ters hava akışı, mekanik sallama, vibrasyon ve basınçlı hava darbesi yer alır. Genellikle bu yöntemlerin bir kombinasyonu kullanılır. Kumaş bozulmamış durumuna normal temizleme mekanizmalarıyla getirilemez. Kumaşın aşırı temizlenmesi faydalı değildir; çünkü kumaşın derinliklerinde biriken parçacıklar lifler arasındaki gözenek boyutunun küçülmesine yardımcı olarak verimi artırır.

Torba filtreler beklenen filtrasyon hızı temelinde tasarlanır; bu, kumaşın birim alanı içinden geçen azami kabul edilebilir gaz hızı olarak tanımlanır (m/sn cinsinden ifade edilir). Filtrasyon hızları genellikle uygulamaya, filtre tipine ve kumaşa göre değişir ve 0,01 ila 0,06 m/sn aralığındadır. Filtre tasarımı, basınç düşüşü (işletim maliyeti) ve boyut (sermaye maliyeti) arasındaki dengenin optimizasyonunu sağlamalıdır. Filtrasyon hızı çok yüksekse, basınç düşüşü de yüksek olur ve parçacıklar kumaşa nüfuz ederek kumaşı köreltir. Filtrasyon hızı çok düşükse, filtre verimli ancak yüksek maliyetli olacaktır.

Cam tank fırınlarını takip eden süreçlerdeki atık gazda bulunan partiküllerin filtre materyaline yapışma eğiliminden dolayı, çökelmiş partiküllerin filtre materyalinden temizlenmesi bazen zor olabilir. İstenen sürekli çalışmanın elde edilmesinde, partiküllerin topaklandırılması veya filtre malzemesinden temizlenmiş bir miktar partikülün kirli gaz akımına sürekli olarak geri dönüştürülmesi yararlı olabilir. Gaz yıkamada sönmüş kireç kullanımı bu etkiyi arttırır.

Kumaş malzemesinin seçiminde gazların bileşimi, tozun yapısı ve partikül boyutu, kullanılacak temizleme yöntemi, gerekli verimlilik ve ekonomik boyut dikkate alınmalıdır. Varsa gaz soğutma yöntemi ve ortaya çıkan su buharı ve asit çiy noktası ile birlikte, gaz sıcaklığı da dikkate alınmalıdır. Kumaş seçiminde dikkate alınması gereken özellikler arasında azami işletim sıcaklığı, kimyasal direnç, liflerin formu ve iplik türü, kumaşın dokuması, aşınma ve esneme direnci, kuvveti, toplama verimliliği, apresi ve geçirgenliği sayılabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Torba filtreler oldukça verimli toz toplayıcılar olup %95 - 99'luk bir toplama verimliliği beklenebilir.

Bu şekilde 0,5 mg/m³ ile 5 mg/m³ arasında partikül emisyonları elde edilebilir ve birçok uygulamada, 5 mg/m³ altındaki seviyelerde seyreden düzeyler beklenebilir. Bu düzeyler genellikle ton erimiş cam başına 0,008 kg'dan önemli ölçüde az olup, borosilikat camlar veya değişime uğramış soda-kireç camları gibi bazı özel durumlarda ton cam başına 0,02 kg'ın altındadır. Ancak, sürekli ölçüm durumlarında standart yöntemlerin belirsizliğinin (bkz. EN 13284-1: 2003) ölçülen değerle aynı büyüklük mertebesinde olduğu; bu nedenle, bildirilen düşük derişim verilerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

Prosesten salınan toz önemli miktarda metal içeriyorsa (tipik emisyon sınır değerlerine yaklaşan veya aşan) bu düşük seviyelere ulaşma gerekliliği önem arz edebilir. Bor bileşiklerinin atık gazlardan uzaklaştırılması, nispeten düşük sıcaklıklarda çalıştırılabilen bir torbalı filtrenin kullanılmasıyla daha verimli hale gelebilir (bkz. 4.4.1).

Mineral yün sektöründe, özellikle taş yünü kupol fırınları için, mevcut tesislerde torbalı filtre uygulanan durumların sadece yaklaşık %60'ında toz emisyonları için 10 mg/Nm³'ün altında derişimler sağladığı bildirilmektedir.

Torbalı filtre ile birlikte yıkama aşamasının uygulanması, genellikle daha düşük toplam asit gazı emisyonu ile sonuçlanır (bkz. 4.4.3 ve 4.4.4.2). Toz geri dönüştürülürse, asit gazların bir kısmı yeniden salınacaktır. Bununla birlikte, genel olarak camdaki toplam alımın daha yüksek ve emisyonların daha düşük olacağı, bazı hammadde seviyelerinde olası düşüşün gözlemlendiği dinamik bir denge oluşacaktır. Bazı gaz halindeki kirleticiler ve özel durumlar için, kuru yıkamanın verimliliği ESP'lere göre torbalı filtrelerle daha yüksek olabilir; çünkü torbalardaki filtre keki üzerinde veya modern torba filtrasyon sistemlerinde bulunan mekanizmalar içinde tozun bir kısmının geri dönüşümü sırasında daha fazla emme gerçekleştirilebilir.

Ortamlar arası etkiler

Torba filtrelerin kullanımı, fırının enerji tüketiminin %1'inden daha azına tekabül eden, basınçlı hava ve fanlar ve kontrol sistemlerinin elektrik tüketimini içerir. Elektrik kullanımıyla ilgili dolaylı CO₂ emisyonları, üretim tesisindeki üretim kaynağına bağlı olacaktır. 500 ton/gün kapasiteli yüzdürme cam fırını için tahmini emisyon değeri yaklaşık 2500 ton CO₂/yıl'dır (cam fırını yıllık CO₂ emisyonlarının yaklaşık %2,5 – 3'ü). 300 ton/gün kapasiteli bir cam ambalaj fırını için tahmini veriler, torbalı filtre kullanımıyla ilişkili dolaylı CO₂ emisyonlarının, yıllık cam fırını CO₂ emisyonlarının (yanma ve hammaddelerden kaynaklanan) %3'üne kadar olabileceğini göstermektedir.

Sofra gerci fırınları için, dolaylı CO₂ emisyonları, 30 – 40 ton/gün kapasite için yaklaşık 200 – 250 ton/yıl ve 180 – 200 ton/gün kapasiteli daha büyük fırınlar için 600 ton/yıl'dır (toplam fırın CO₂ emisyonlarının %3'ü).

Elektrik kullanımıyla ilişkili dolaylı emisyonların, kurulumun kapasitesine bağlı olarak ton erimiş cam başına 10 – 26 kg CO₂, ton erimiş cam başına 0,025 – 0,045 kg NO_x ve ton erimiş cam başına 0,09 – 0,16 kg SO₂ aralığında olduğu tahmin edilmektedir (özel tahmini veriler için ayrıca bkz. 8.1.7, Tablo 8.7).

ESP'ler için de geçerli olduğu gibi, ek dolaylı emisyonlar, yıkama işlemi için kullanılan alkali reaktiflerin (sodyum bikarbonat, sodyum karbonat, kalsiyum hidroksit) üretimi ile ilişkilidir (bkz. 4.4.1.3). Günde 200 – 600 ton kapasiteli cam ambalaj fırınları için tahmin edilen emisyon değeri yılda 60 – 200 ton CO₂ olup (fırının toplam CO₂ emisyonunun %0,5'inden az); günde 500 – 900 ton kapasiteli yüzdürme cam fırınları için bu değer yılda 300 – 600 CO₂'e (fırının toplam CO₂ emisyonunun yaklaşık %0,5'i) kadar varabilmektedir.

Tekniğe bir yıkama aşaması dâhil edilirse, fırına geri dönüştürülmesi veya bertaraf edilmesi gereken bir katı atık akışı ortaya çıkar. ESP'lerin uygulanmasına gelince, katı atık üretimi, toz geri dönüşümü mümkün olmadığında ve harici bertarafın gerekli olduğu durumlarda önemli bir ortamlar arası etki olabilir. Filtre tozunun geri dönüşümü için 4.4.1.2'de sunulan aynı sınırlamalar, torbalı filtre uygulandığında da geçerlidir. Cam ergitme fırınlarına uygulanan hava kirliliği kontrol sistemleri için maliyetlerin ve ortamlar arası etkilerin bir özeti 8.1.7, Tablo 8.7'de gösterilmektedir.

İşletim verileri

Elektrostatik toz tutucularda olduğu gibi, bir torbalı filtrenin toz azaltma verimliliği zaman ve çalışma koşullarına göre değişebilir (bkz. 4.4.1.2, işletim verileri).

Atık gaz sıcaklığının, torbalı filtre sistemine uygun aralıkta tutulması esastır. Gazın sıcaklığı, gazın içerisinde mevcut olabilecek yoğunlaşabilir maddelerin (örn. H_2SO_4 ya da su) çığlenme noktasının üzerinde ve filtre ortamının üst sınırının altında tutulmalıdır. Sıcaklık çok düşükse, torbanın körelmesine ve/veya kumaş malzemesinin kimyasal etkisine neden olabilecek yoğunlaşma meydana gelir. Sıcaklık çok yüksek olduğunda, filtre malzemesi hasar görebilir ve maliyetli değişim gerektirebilir. Konvansiyonel filtre kumaşları genellikle 130 ile 220 °C arasındaki bir maksimum çalışma sıcaklığına sahiptir ve genel anlamda, çalışma sıcaklığı ne kadar yüksekse, maliyet de o kadar yüksek olur. Çoğu cam prosesinde atık gaz sıcaklığı 450 ile 800 °C arasındadır. Bu nedenle, gaz filtrelenmeden önce seyreltme, söndürme veya ısı eşanjörü ile soğutulmalıdır.

Baca gazlarının asidik türler içermesi olasılığı varsa (özellikle petrolle çalışan fırınlarda), bazı torba malzemelerine ve filtre yuvasına zarar verebilecek asit yoğunlaşmasını önlemek için filtreye gelinmeden önce bir yıkama sistemi kurulması gerekli kabul edilir. Bor içeren baca gazları için, yıkama aşaması uçucu bor türlerinin çökmesine yardımcı olur ve tozun tıkanma olmadan toplanmasını kolaylaştırabilir.

Torba filtreler hassas malzemeler olmasına rağmen, gelişen teknolojiyle birlikte modern filtreler uygun sağlamlığı kazanmıştır. Genel olarak iyi güvenilirlik sağlayan torba kumaşı hasarını önlemek üzere, sıcaklığın iyi bir şekilde kontrol edilmesini sağlayan uygun kontrol sistemleri mevcuttur. Filtre dokusunun hasarını mümkün olduğunca önlemek için güvenilir bir sürekli elektronik kontrol sistemi içeren, gelişmiş bir teknik prosedür gereklidir.

Modern torbalı filtre sistemleri 1 000'den fazla torba içerir. Az sayıda torbanın hasar görmesi normalde filtrasyon verimliliğini önemli ölçüde etkilemez. Baca üzerindeki sürekli toz izleme sistemleri, olası herhangi bir sorunu etkili bir şekilde tespit eder.

Torbalı filtrelerin kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.9'da sunulmaktadır.

Tablo 4.9: Torbalı filtrelerin temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u> • Çok yüksek toplama verimliliği • Ürünün kuru halde toplanması • Daha basit uygulamalar için daha düşük sermaye maliyeti • Metallerin etkili yakalanması • Hidrojen florür, selenyum ve bor bileşikleri gibi asit gazlı türlerin geneline karşı iyileştirilmiş giderme verimliliği <u>Dezavantajlar</u> • Geri dönüşümü her zaman mümkün olmayan katı atık akışı meydana gelir • Daha yüksek basınç düşüşü nedeniyle artan enerji tüketimi (CO₂ ile elektrik üretiminden kaynaklanan diğer dolaylı emisyonlar) • Genellikle gaz soğutması gereklidir • Kumaş şartlandırma bazen gereklidir • Pahalı kumaşlar bazen gereklidir • Kumaş filtrelerin ve filtre muhafazasının körelmesine yol açan çiy noktası sorunları • Temizleme havası (ters akış) bazen ısıtma gerektirir • Çıkarılması çok zor olan bazı tozlar, basınç düşüşünün tasarım değerini aşmasına neden olur • Çıkış baca gazı sıcaklığı SCR uygulaması için çok düşüktür, ergitme fırınının enerji tüketimine kıyasla enerji tüketiminde yaklaşık %5 - 10'luk bir artışla atık gazların yeniden ısıtılmasını gerektirir

Uygulanabilirlik

Torbalı filtreler, cam sanayiinin bazı sektörlerinde geniş ölçüde kabul görmüştür. Prensip, torba filtreler cam sanayiinde kullanılan her tür fırına ve hem yeni hem de mevcut fırınlara uygulanabilir. Bununla birlikte, birçok sektörde, nispeten yüksek bakım gereksinimleri ve kumaşın körelme potansiyelinin getirdiği yüksek filtre değişimi maliyeti nedeniyle tercih edilen teknik olmamıştır. Bununla birlikte, bir yıkama aşamasının sürece dâhil edilmesi ve düşük sülfürlü yakıtların kullanılması, torbaların körelme eğilimini azaltır.

Torbalı filtrelerle ilgili bir başka endişe, fosil yakıtlı fırınların çoğunun hassas basınç kontrolü gerektirmesi ve yüksek basınç düşüşüne sahip bir kumaş filtrenin bunu zor hale getirebileceğidir. Modern malzemeler ve kontrol sistemleriyle bu sorunun önemi azalmıştır. Bahsi geçen endişeler nedeniyle, birden fazla fırının torbalı filtre yerine ESP'ye bağlanması teknik olarak daha uygun görülmektedir.

Modern sistemlerde yukarıda bahsedilen sorunların büyük kısmının üstesinden gelinmiştir ve cam ambalaj fabrikalarında, borosilikat cam fabrikalarında ve diğer cam sektörlerinde iyi çalışan pek çok torbalı filtre örneği mevcuttur.

Düz cam sektöründe, birçok uygulama için gerekli olan yüksek cam kalitesinin sağlanmasında fırındaki basıncın kontrolü kritik öneme sahiptir. Ürettikleri yüksek basınç düşüşü nedeniyle, fırında gerekli basınç koşulunu ve dolayısıyla üretilen camda gerekli kaliteyi korurken diğer yandan torba filtrelerin işletilmesi büyük zorluk teşkil etmiştir. Bu nedenle, baca gazını düşük sıcaklıklarda şartlandırmanın zorluklarına ek olarak, yüzdürme cam fırınları için torba filtreler en iyi seçenek değildir. 1996'da torbalı filtreyle donatılan bir yüzdürme cam fırını halen Avrupa'daki tek örnektir, bunun dışında hiçbir yüzdürme cam fırını torbalı filtreyle donatılmamış olup bütün durumlarda ESP tercih edilmiştir.

Kumaşın körelmesinden kaynaklanan filtre tıkanıklıkları, özellikle ince partikül maddelerin, kuru yıkama aşaması olmadan tıkanıklıklardan kaçınmayı çok zor hale getiren yapışkan yapıları nedeniyle, fosil yakıtlı cam yünü fırınlarında (ve diğer bazı bor içeren camlarda) endişelere neden olmaktadır.

Fırınlarda genellikle asit türleri çok düşük derişimlere sahiptir ve gazla ateşlenir, dolayısıyla bakımı iyi yapılan bir torbalı filtre olduğu sürece, yıkama aşamasına ihtiyaç duyulmayabilir. Bu, sermaye ve işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltır ve toz geri dönüşümünü çok daha kolay hale getirir. Bununla birlikte, bir yıkama aşamasının kullanılması, örneğin bor ve selenyum bileşikleri gibi uçucu türlerin soğurulmasını ve yoğunlaşmasını kolaylaştırır.

Torbalı filtrelerle ilgili bir başka endişe, fosil yakıtlı fırınların çoğunun hassas basınç kontrolü gerektirmesi ve yüksek basınç düşüşüne sahip bir kumaş filtrenin bunu zor hale getirebileceğidir. Modern malzemeler ve kontrol sistemleriyle bu sorunun önemi azalmıştır.

Teknik, yüksek sıcaklık yalıtım yünü (HTIW) fırınları, taş yünü kupol ocakları, frit fırınları, elektrikli fırınlar ve bir düzeye kadar cam ambalaj fırınları ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha küçük boyutlu ve fosil yakıtla çalışan pek çok fırında, torbalı filtreler asit gazı emisyonlarını azaltmak için kurulan yıkama sistemleriyle birlikte çalıştırılacak teknik olarak seçilmiştir. Ayrıca, torbalı filtrelerin elektrostatik toz tutuculara kıyasla daha düşük olan sermaye maliyetleri çok cazip olabilir; yüksek bakım ihtiyacı ve torbaların körleşmesi riski ile ilişkili masrafları da dengeleyebilir.

Genellikle düşük olan işletim sıcaklığı katalizörün işletim koşullarına uygun olmadığından dolayı, torbalı filtre sistemlerinin uygulanması SCR kullanımının öngöröldüğü durumlarda en iyi seçenek değildir.

Ekonomi

Genel olarak, bir torbalı filtre sisteminin yatırım maliyetleri ESP'lere göre daha düşük, ancak işletme maliyetleri daha yüksek olabilir. Bununla birlikte, büyük gaz hacimleri için, kuru yıkama aşamasıyla birlikte uygulanan torbalı filtrelerin özel maliyetleri, ESP ve gaz yıkayıcı sistemi kombinasyonu ile kıyaslanabilir veya daha yüksek olabilir. Bu, esas olarak yüzdürme cam fırınları için veya birkaç cam ambalaj fırınının tek bir hava kirliliği kontrol sistemine bağlı olduğu durumlar için geçerlidir. Torbalı filtre maliyetlerini etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- atık gaz hacmi
- filtre yüzey alanı (istenen verimliliğe bağlı olarak)
- kumaş malzemesi (cam elyafı, poliamid, poliimid, vb.)
- filtre çalışma sıcaklığına göre atık gaz şartlandırma
- asitli gaz yıkama gerekliliği, yıkayıcının etkinliği ve yıkama maddesinin türü (yani sönmüş kireç, sodyum bikarbonat, sodyum karbonat)
- tesis özellikleri (alan mevcudiyeti, yerleşim düzeni, gerekli saha hazırlığı, vb.)
- enerji, elektrik, su ve iş gücü maliyetleri
- toz bertaraf maliyetleri (geri dönüşümü mümkün değilse).

8.1'de raporlanan metodolojiye dayanarak, maliyet tahminleri, farklı fırın kapasiteleri ve SO_x emisyon giderme verimleri için; ve filtre tozunun tümünden geri dönüşümü veya bertarafı hesaba katılarak yapılmıştır. Veriler, gerçek maliyetlere (ör. tedarikçilerden alınan fiyatlar) ve hesaplanan değerlere [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] dayanmaktadır.

Dikkate alınan değerler, aksi belirtilmedikçe; toz emisyon derişimi için <5 – 10 mg/Nm³ aralığı, başlangıç SO_x emisyon düzeyi için gaz ve petrol yakıtlı fırınlarda sırasıyla 800 – 1000 mg/Nm³ ve 1800 – 2000 mg/Nm³ aralıklarıdır. Sönmüş kireç kullanılan kuru yıkama koşulları altında SO_x giderme verimliliği %30 varsayılmaktadır. Tahmini maliyet verileri aşağıda raporlanmıştır.

Yüzdürme cam üretimi

- Torbalı filtre + kuru yıkama aşamasının tahmini toplam yatırım maliyeti, 500 ton/gün gazla çalışan bir fırın için 2,7 milyon Avro olup, torbalı filtrenin yarı kuru fırçalama ile birlikte uygulandığı petrole çalışan bir fırın için 4,5 milyon Avro'ya denk gelmektedir.
- Yakıt türüne ve filtre tozunun geri dönüştürülme imkanına bağlı olarak, işletme maliyetlerinin yıllık 700000 ila 930000 Avro arasında olduğu tahmin edilmektedir.
- Ton erimiş cam başına ifade edilen tahmini özgül maliyetler, yakıta bağlı olmak üzere ve filtre tozunun tümünden bertarafı varsayılarak, 7 ile 9,5 Avro arasında değişebilir.
- Özgül maliyetler, fırının kapasitesine ve çalışma koşullarına (yakıt tipi ve filtre tozuyla ne yapıldığı) bağlı olarak, giderilen her kg toz başına 12 ila 21 Avro ve giderilen her kg SO₂ için 0,6 ila 1 Avro arasında değişebilir.

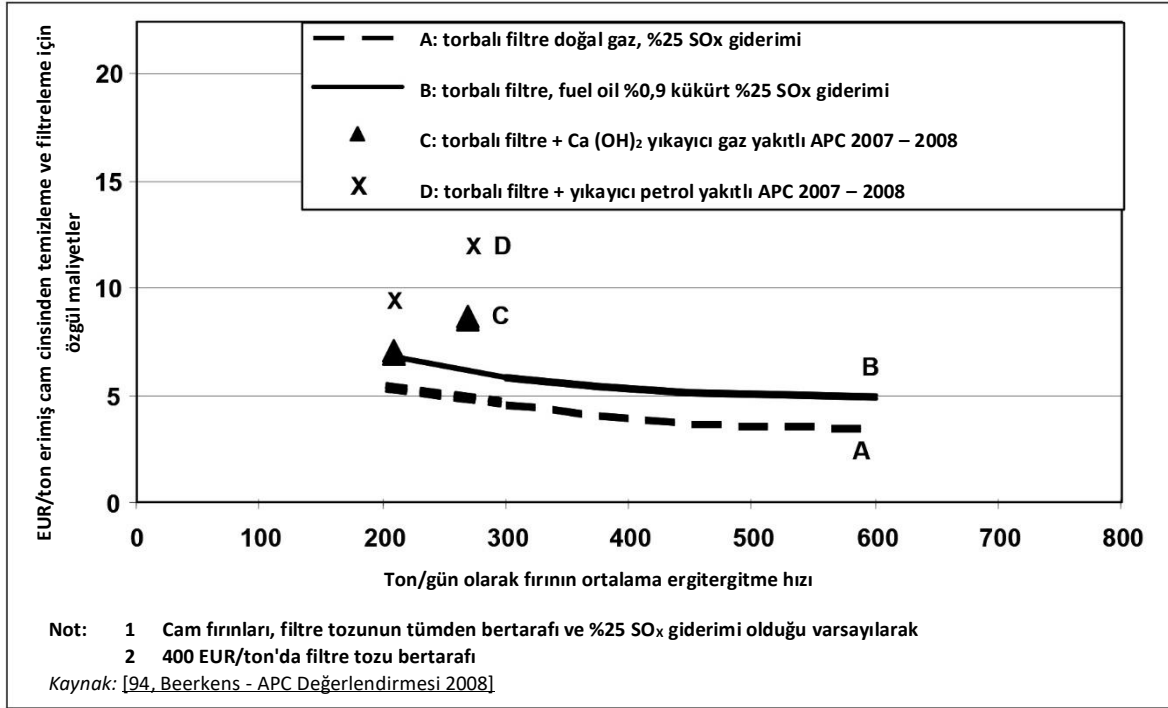
Cam ambalaj üretimi

- Bir hava kirliliği kontrol sistemi (torbalı filtre + kuru yıkama aşaması) için toplam yatırım maliyeti, fırının boyutuna bağlı olarak (200 – 600 ton/gün) 1,2 ile 2 milyon Avro arasında değişebilir.
- İşletme maliyetleri yıllık 160000 ile 526000 Avro arasında değişebilir, düşük değer 200 ton/gün kapasiteli gazla çalışan fırın ve filtre tozu geri dönüşümüyle ilişkili olup, daha yüksek değer filtre tozunun tamamen atıldığı, petrole çalışan bir fırınla ilişkilendirilir.
- Ergitilen cam başına özgül maliyetler 2.7 ile 7.3 Avro arasında değişebilir, düşük değer 600 ton/gün kapasiteli büyük fırın ve filtre tozu geri dönüşümüyle ilişkili olup, daha yüksek değer filtre tozunun tamamen atıldığı, 290 ton/gün kapasiteli petrole çalışan bir fırınla ilişkilendirilir.
- Özgül maliyetler, tesisin kapasitesine ve çalışma koşullarına bağlı olarak, giderilen her kg toz başına 13 ila 23 Avro ve giderilen her kg SO₂ için 0,65 ila 1,2 Avro arasında değişebilir.
- 350 ton/gün kapasiteli bir fırında, torbalı filtre + yarı kuru yıkama aşamasından oluşan hava kirliliği kontrol sistemleri için yaklaşık 2,3 milyon Avro olan daha yüksek yatırım maliyetleri beklenmektedir. Bu durumda, ton erimiş cam başına spesifik maliyetler 5 – 6,5 Avro mertebesindedir.

Cam ev eşyası üretimi

- Bir hava kirliliği kontrol sistemi (torbalı filtre + kuru yıkama aşaması) için toplam yatırım maliyeti, fırının boyutuna (30 – 200 ton/gün) bağlı olarak 0,77 ile 1,15 milyon Avro arasında değişebilir.
- İşletme maliyetleri yıllık 65000 ile 174000 Avro arasında değişebilir, düşük değer gazla çalışan küçük boyutlu fırın (30 ton/gün) ile ilişkili olup, daha yüksek değer gazla çalışan daha büyük bir fırınla (180 ton/gün) ilişkilendirilir. Her iki durumda da filtre tozu geri dönüştürülmektedir.
- Ton erimiş cam başına özgül maliyetler, büyük ölçüde fırın boyutuna bağlı olarak ton erimiş cam başına 3,8 ile 13,8 Avro arasında değişebilir; düşük değer daha büyük fırınlarla ve yüksek değer daha 30 ton/gün kapasiteli fırınlarla ilişkilidir.
- Giderilen kg kirlitici başına özgül maliyetler, kurulumun kapasitesine ve çalışma koşullarına bağlı olarak, giderilen her kg toz başına 23 ila 35 Avro ve giderilen her kg SO₂ için 1,2 ila 1,8 Avro arasında değişebilir.

Şekil 4.5, torbalı filtreler ve cam ambalaj fırınlarına uygulanan kuru yıkayıcılar için bazı tahmini maliyet verilerini göstermektedir.



Şekil 4.5: Cam ambalaj fırınları için torbalı filtrelerle birlikte kuru yıkayıcılar için tahmini maliyetler, filtre tozunun tümünden bertarafı ve %25 SO_x giderimi olduğu varsayılarak

Şekil 4.5'te, aynı SO₂ emisyon azaltma yüzdesi varsayıldığında, petrol yakıtlı fırınların spesifik maliyetleri, gaz yakıtlı fırınlara göre %30 - 35 daha yüksek görünmektedir; bunun temel nedeni sülfat filtre tozu bertaraf maliyetinin ve sönmüş kireç maliyetlerinin (petrol yakıtlı cam fırınlarında baca gazı SO₂ derişim seviyelerinin daha yüksek olmasından dolayı daha çok sönmüş kireç gerekir) daha yüksek olmasıdır. 2007 yılında, kurulumun (filtre, yıkayıcı, ve boru şebekesi) artan sermaye (yatırım) maliyetlerinden dolayı, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi C ve D tesisleri için bu maliyetler yükselmiştir. Daha küçük cam üretim tesisleri için tipik maliyetler ton erimiş cam başına 6 ila 10 Avro arasında değişmekle birlikte bazen daha yüksek maliyetler de beklenebilir. 400 – 500 ton/gün üzerinde üretime sahip tesislerin maliyeti, ton erimiş cam başına 3.5 ile 5 Avro arasında değişmektedir. Bu maliyetler, gazla çalışan fırınlara ve toplanan filtre tozunun tümünün atık sahasına bertarafına ilişkindir. Fuel oil yakma ve filtre tozu bertarafı durumunda, özgül maliyetler ton erimiş cam başına 1 – 1,5 Avro arasında artacaktır.

8.1.7'deki Tablo 8.7'de, torbalı filtrelerin ve farklı yıkama sistemleri seçeneklerinin uygulandığı ambalaj, yüzdürme, sofr gereci camı ve kesintisiz cam elyaf sektörlerindeki farklı büyüklükteki kurulumlar için tahmini maliyetlerin bir özeti verilmektedir.

Farklı işletim koşullarında özel cam üreten iki tesis için gerçek maliyet verilerinin örnekleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10: İki özel cam sektörü tesisinde uygulanan torba filtrelerin gerçek maliyetlerine örnekler

	Özel cam Kurulum No 1 ⁽¹⁾	Özel cam Kurulum No 2
Fırın tipi	Elektrikli ergitertitme	Oksi ateşlemeli
Yakıt		Doğalgaz
Fırın kapasitesi	86 ton/gün	50 ton/gün
Gerçek ergitertitme hızı	80 ton/gün	40 ton/gün
Elektrikle destekleme		evet
Cam türü	Borosilikat, beyaz	Borosilikat
Kırık	% 70	% 60
Özgöl enerji tüketimi ⁽²⁾	4,18 GJ/t cam (iki fırının ortalaması)	6,72 GJ/t cam
Filtreden önceki sıcaklık	80°C	105°C
Emici türü	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Emici miktarı	3 kg/s	15 kg/s
Harman formülasyonunda filtre tozunun yeniden kullanımı	% 0	% 0
Havalandırıcı dâhil filtrasyon sistemi için enerji tüketimi	20 kW/s	34 kW/s
Yatırım maliyetleri ⁽³⁾	440000 EURO	1,5 milyon Avro
Amortisman süresi	10 yıl	15 yıl
İşletme maliyetleri	50000 EUR/yıl	83109 EUR/yıl
Yıllık amortisman maliyetleri	58520 EUR/yıl	126000 EUR/yıl
Yıllık maliyetler toplamı	108520 EUR/yıl	209109 EUR/yıl
Ton cam başına tahmini maliyetler	3,71 EUR/ton cam	14,32 EUR/ton cam
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)	Yarım saatlik ortalama değerler	
mg/Nm ³ , kuru gaz	Toz: 1,2 ⁽⁴⁾	Toz: 0,8 ⁽⁴⁾
	SO _x : 0,7	SO _x : 4,7
	HCl: 5,1	HCl: 22,0
	HF: 0,3	HF: 0,3
kg/t cam	Toz: 0,0017	Toz: 0,0008
	SO _x : 0,037	SO _x : 0,013
	HCl: 0,028	HCl: 0,061
	HF: 0,0018	HF: 0,0009

⁽¹⁾ Veriler, iki elektrikli fırınlı bir kurulumla ilişkindir; belirtilen üretim kapasitesi iki fırının toplamıdır.

⁽²⁾ Belirtilen değerler, kullanım noktasındaki enerjiye atıfta bulunur ve birincil enerjiye göre düzeltilmemiştir.

⁽³⁾ Maliyet verileri, filtreleme ve kuru yıkama sistemine ilişkindir. Değerler, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir.

⁽⁴⁾ Düşük derişim değerleri, oldukça uygun koşullarda alınmış olabilecek spot ölçümleriyle ilişkilidir. Normalde ölçüm yönteminin belirsizliği ölçülen değerle aynı büyüklük mertebesinde (bkz. Bölüm 8.3.2).

Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]

Uygulamanın itici gücü

Yasal emisyon sınırlarına uyum en önemli itici güçtür.

Torbalı filtrenin kuru veya yarı kuru yıkamayla birlikte kurulmasının itici gücündeki bir başka faktör, metal (Pb, Se vb.) ve/veya gaz (SO₂, HCl, HF vb.) emisyonlarını azaltmak olabilir. Toz emisyonlarında metaller söz konusu olduğunda, torbalı filtreler iyi bir çözüm olabilir. Selenyum ve arsenik gibi uçucu metaller için, torbalı filtrelerin daha düşük çalışma sıcaklıkları metallerin iyi bir şekilde yakalanmasını sağlar.

Örnek tesisler

2005 yılında cam ambalajı sektöründe 16'dan fazla tesis torbalı filtrelerle donatılmış olup, diğer cam sektörlerinde de pek çok örnek mevcuttu. AB-27'de torbalı filtre uygulanan yalnızca bir düz cam tesisi vardır.

Referans literatür

[33, Beerkens 1999] [64, FEVE 2007] [70, VDI 3469-1 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] [86, Avusturya cam ev eşyası tesisleri 2007] [110, Avusturya, Cam ev eşyası tesisleri 2007]

4.4.1.4 Mekanik toplayıcılar

Açıklama

Mekanik toplayıcılar terimi, tozu gaz akışından ayırmak üzere mekanik kuvvetleri (yerçekimi, eylemsizlik, santrifüj) kullanan teknikleri tanımlamak için kullanılır. Örneğin:

- Siklonlar - toz, gazın döndürülmesi hareketi ve merkezkaç kuvveti ile ayrılır;
- yerçekimli çöktelticiler - gaz, gaz hızını düşüren ve tozun çökmesine neden olan büyük bir odaya girer;
- bölmeli odalar - bölmeler, gazın yön değiştirmesine ve tozun çökmesine neden olur;
- panjurlar - küçük bölmelerden oluşan gruplar ayrılarak gaz akışının yönünü değiştirir ve tozun çökmesine sağlar.

Bu teknikler, başta 10 µm'den küçük olanlar olmak üzere küçük partiküller için yeterli toplama verimliliğini sağlamaz ve cam sanayiinde, ortaya çıkan tozların partikül boyunun düşük olması nedeniyle nadiren kullanılırlar. Bunun istisnası, özellikle diğer teknikler için bir ön işlem aşaması olarak, belirli uygulamalarda kullanılan siklondur. Çalışma prensipleri temel avantajları ve dezavantajlarıyla aşağıda özetlenmiştir. Ancak, fırın emisyonlarına yönelik etkili bir teknik olarak değerlendirilmemeleri nedeniyle siklonlar detaylı olarak açıklanmamıştır.

Siklon, eylemsiz bir gaz temizleme cihazıdır. Toz, gaz akışının yönünün değiştirilmesiyle gaz akımından ayrılır ve eylemsizliği sayesinde başlangıçtaki yönünde hareketine devam eder ve daha sonra bir toplama yüzeyinde birikir. Ters akışlı ve doğrudan geçişli olmak üzere iki tür siklon vardır. En yaygın kullanılan çeşit olan ters akışlı siklonlar, konik tabanlı silindirik bir kabuk, bir toz toplama hunisi ile hava giriş ve çıkışlarından oluşur. Teğetsel ve eksenel olmak üzere iki ters akışlı siklon türü vardır. Bu sınıflandırma, hava girişinin geometrisine dayanır.

Giriş gazı akışı bir girdaba kanalize edilir ve merkezci kuvvetler dairesel hareketi sürdürür. Kritik boyutun üzerindeki partiküller, giriş spiralinden, daha geniş bir dairesel yola atılır ve siklon duvarında biriktirilir. Hava akışı tozu toplama hunisine taşır ve koninin tabanında gaz akışı tersine dönerek temiz gaz, çıkış spiralindeki siklonun merkezi boyunca geri gider.

Genel olarak, bir siklonun verimi; partikül halindeki malzemenin yoğunluğu, giriş hızı, siklon uzunluğu, gaz devri sayısı, gövde çapının çıkış deliğinin çapına oranı, partikül çapı, toz miktarı ve siklon duvarının pürüzsüzlüğü parametreleriyle doğru orantılıdır. Gaz viskozitesi, gaz yoğunluğu, sıcaklık, siklon çapı, gaz çıkış deliğinin çapı, gaz giriş kanalının genişliği ve giriş alanının artması ise verimliliği azaltır.

Elde edilen çevresel faydalar

Siklonlar birçok sanayide yaygın olarak kullanılmaktadır ve özellikle 10 µm'den büyük çaplara sahip partiküllerin toplanması için uygundur. Tasarıma bağlı olarak, orta/yüksek verimli siklonlar 10µm'de % 45 – 90 ve 1 µm'de % 5 – 30 toplama verimliliği sağlar. Gaz akımından kaba malzemeyi uzaklaştırarak asıl azaltma ekipmanına giren toz yükünü azaltmak üzere, genellikle daha pahalı teknolojilerin öncesinde yer alırlar.

Siklon kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.11'da sunulmaktadır.

Tablo 4.11: Siklonların temel avantajları ve dezavantajları

Avantajlar: • Düşük sermaye ve işletme maliyetleri (bakım dâhil) • Orta düzeyde basınç düşüşü • Diğer tekniklere göre düşük alan gereksinimi • Yüksek toz yükü ile çalışabilme • Çok çeşitli gazlar ve tozlar için kullanılabilir • Yüksek sıcaklık ve basınçlarda çalıştırılabilir • Geniş bir malzeme yelpazesinden üretilebilir Dezavantajlar: • Küçük partiküller için düşük toplama verimliliği • Hafif veya iğne biçimli malzemelerin çıkarılması zordur • Çiğlenme noktalarının karşılaşıldığı yerlerde tıkanma meydana gelebilir • Yanıcı malzemeler için patlama tehlikesi zordur • Aşındırıcı tozlarla ilgili olası sorunlar

Uygulanabilirlik

Bu teknik, siklonların genellikle ilave işlemlerden kaynaklanan atık gazları arıtmak üzere diğer kirlilik giderme sistemleriyle birlikte kullanıldığı mineral yün sektörü dışında, cam sanayiinde nadiren tek başına kullanılır. Genel olarak siklonlar, ana azaltma sistemine giren tozu azaltmak amacıyla kaba malzemeyi uzaklaştırmak için kullanılır.

4.4.1.5 Yüksek sıcaklık filtre ortamı

Açıklama

Geleneksel torbalı filtrelerle ilgili sorunlardan biri, atık gaz sıcaklığının filtre malzemesinin çalışma aralığı içinde tutulmasının gerekmesidir. Sıcaklık üst sınırın üzerine çıktığında, filtrenin baypas edilmesi veya gazın seyreltme gibi bir yolla soğutulması gerekir. Konvansiyonel filtre malzemelerinin sıcaklık sınırı 120 – 180 °C'dir, bazı malzemeler için bu sınır 250 °C'ye kadar (cam elyaf) çıkabilir. Malzeme maliyetleri 180 °C'nin üzerinde çalışabilen malzemeler için önemli ölçüde artar. Bazı uygulamalarda yüksek sıcaklığa dayanıklı filtreler kullanılmıştır, ancak bu filtreler normal torbalı filtreler değildir ve genellikle kartuş filtre tasarımlarını andırır.

Bazı taş yünü kupol ocaklarından kaynaklanan emisyonların azaltılmasında yüksek sıcaklığa dayanıklı filtreler başarılı olmuştur, ancak yüksek maliyetler veya tesisin kapanmış olması nedeniyle artık kullanılmamaktadır. Diğer sanayilerde kullanılan en yaygın yüksek sıcaklık filtreleri, tozun giderilmesinde kullanılan seramik veya yüksek sıcaklık yün kartuşlarıdır. Bu filtreler alüminyum-silikat malzemelerden yapılmıştır ve 1000 °C'ye kadar varan sıcaklıklara uygulanabilir. NO_x giderilmesi için seramik kartuş teknolojisini gömülü katalizörle birleştiren yeni bir filtre türü artık mevcuttur. Gelişmekte olarak kabul edilen bu teknik 6.7'de ele alınmaktadır.

Elde edilen çevresel faydalar

Yüksek sıcaklık seramik filtrelerinin uygulanmasıyla <10 mg/Nm³ toz derişimleri bildirilmiştir. Daha güncel bilgiler, birden fazla kirleticinin giderilmesi için gelişmiş seramik ve katalitik seramik filtrelerin uygulanmasıyla ilişkilidir (bkz. 6.7). Yüksek sıcaklık filtrelerinin kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.12'de sunulmaktadır.

Tablo 4.12: Yüksek sıcaklık filtrelerinin temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u> • 1000 °C'ye varan yüksek sıcaklıklarda çalıştırılabilir • Genel olarak, asit gazlarına karşı yüksek direnç • Yüksek filtrasyon verimliliği; %99.9'a kadar • Seyreltme havası ile baca gazı sıcaklığını düşürmeye gerek yoktur • Isı geri kazanım sistemleri yüksek sıcaklıklarda filtreden (temizlenmiş gaz) sonra konumlandırılabilir. <u>Dezavantajlar:</u> • Sert ve pahalı malzemeler • Yüksek maliyetli bakım ve hasar onarımları • Yüksek nem ve düşük sıcaklıklarda HF'e karşı düşük kimyasal direnç

4.4.1.6 Yaş yıkayıcılar

Açıklama

Yaş yıkama sistemleri hem gaz hem de partikül emisyonlarını kontrol etmek için kullanılabilir; ancak genel olarak uygulamaları gaz halindeki kirleticilerin uzaklaştırılmasında daha verimlidir. Partikül ve gaz giderme için kullanılan teknoloji temelde benzer olsa da, tasarım kriterleri çok farklıdır. Bununla birlikte, sermaye maliyetlerini düşük tutmak amacıyla, genellikle karışık partikül ve gaz emisyonlarının kontrol altına alınması için yaş yıkama sistemleri kullanılır. Bu tasarımın seçimi her halükarda bir ödün verildiği anlamına gelir; ancak ayrı kontrol sistemlerinin çok pahalı olduğu durumlarda MET'i temsil edebilir. Yaş gaz yıkama sistemleri de çözünmeyen partiküller ile tıkanabilir ve bir atık bulamacı ortaya çıkar. Teknik, 4.5.6.1.2 mineral yünü ergitergitme dışı faaliyetleri kısmında, özellikle şekillendirme alanı uygulamalarında; ve 4.4.3.4 asit gazlarının (SO_x, HCl, HF, bor bileşikler vb.) giderilmesine yönelik uygulamalarda daha detaylı olarak açıklanmaktadır.

Bazı uygulamalarda venturi yıkayıcılar değerlendirilebilir. Bu sistemler yüksek basınç düşüşüne sahiptir ve dolayısıyla yüksek enerji tüketimine ve işletme maliyetlerine sebep olur. Venturi yıkayıcılar ile iyi bir toplama verimliliği elde edilebilmesine rağmen bazı uygulamalarda, çoğu cam işleminin ölçeği, tekniğin hem teknik hem de ekonomik olarak uygulanamaz kabul edilmesine sebep olacaktır. Bununla birlikte, yaş yıkama ile toz emisyonlarının giderilmesi, özellikle gaz halindeki emisyonların da giderilmesi gerekiyorsa, bazı özel işlemlerde uygulama bulabilir.

Çoğu cam fırını için yaş yıkamanın maliyet etkin partikül madde giderimine yönelik en iyi veya kullanışlı bir teknik olması muhtemel değildir.

Elde edilen çevresel faydalar

Konvansiyonel cam ergitergitme fırınlarında yaş yıkama sistemlerinin uygulanmasına ilişkin performans verileri mevcut değildir.

Özel cam üreten bir elektrikli fırına uygulanan yaş gaz yıkayıcıların performansı 4.4.3.4'te gösterilmiştir.

Yaş yıkayıcıların kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.13'de sunulmaktadır.

Tablo 4.13: Yaş yıkayıcıların temel avantajları ve dezavantajları

Avantajlar: • Partikül madde ve gaz halindeki kirleticilerin eşzamanlı giderilmesi • Daha küçük alan ihtiyacı Dezavantajlar: • Arıtılacak atık su akımının üretilmesi • Yüksek verimlilik yalnızca yüksek basınç düşüşleri ve yüksek enerji tüketimiyle mümkün • Harman formülasyonunda yeniden kullanmak üzere toz/çamurun geri kazanılmasının zorlukları ve yüksek maliyetleri

Ekonomi

Yaş yıkama sistemlerinin cam ergitme fırınlarına uygulanmasıyla ilgili yatırım ve işletme maliyetlerinin bir tahmini aşağıda özetlenmiştir [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008].

- E-cam üreten 100 – 150 ton/gün kapasiteli oksijenli bir fırın için, yatırım maliyeti 2,65 milyon Avro, yıllık işletim maliyeti 286 400 Avro, ton toz başına 100 ile 400 Avro aralığında olan toz bertaraf maliyetine dayanarak, ton cam başına özgül maliyet 14,4 ile 21,5 Avro arasında tahmin edilmektedir.
- E-cam üreten 100 – 150 ton/gün kapasiteli konvansiyonel hava/gaz fırını için, yatırım maliyeti 2,96 milyon Avro, yıllık işletim maliyeti 300 000 Avro, ton toz başına 100 ile 400 Avro aralığında olan toz ve çamur bertaraf maliyetine dayanarak, ton cam başına özgül maliyet 15,7 ile 20,5 Avro arasında tahmin edilmektedir.

Örnek tesisler

Cam sanayiinde, özellikle cam ev eşyası ve kesintisiz cam elyafı sektörlerinde yaş gaz yıkayıcı uygulaması çok sınırlı sayıdadır, bunlar:

- Bormioli Luigi, Parma, İtalya, cam ev eşyası (elektrikli fırınlar)
- PPG Industries Fiber Glass, Hoogeveen, Hollanda, kesintisiz cam elyaf.

Referans literatür

[94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008]

4.4.2 Azot oksitler (NO_x)

[88, FEVE Önerisi Bl.4-NOX 2007]

Azot oksit (NO_x) terimi, azot oksit (NO) ve NO₂ eşdeğeri olarak ifade edilen azot dioksiti (NO₂) kapsar. Nitroz oksit (N₂O) normal şartlarda cam sanayiindeki kirleticilerden değildir ve NO_x terimi kapsamına alınmamıştır. Cam ergitme faaliyetlerinden kaynaklanan NO_x emisyonlarının üç temel kaynağı termal NO_x, hammaddeler ve yakıttır. Dördüncü bir kaynak olan ani NO_x (azotun kısa ömürlü hidrokarbon radikalleri ile karmaşık reaksiyonundan) diğerlerine kıyasla önemsizdir.

Harmandaki hammaddelerde nitratların bulunduğu durumlarda, malzemeler eridikçe NO_x salınır. Genel olarak azotlu bileşenlerin büyük bölümü NO_x olarak yayılır ve cama dâhil olmaz. Örneğin, sodyum nitrat (NaNO₃) ergitildiğinde, sodyum bileşeni cama Na₂O olarak dâhil edilir ve bileşiğin geri kalanı gaz (NO_x, O₂ ve N₂) olarak salınır.

Yakıt kaynaklı NO_x, yakıtta bulunan azot ve azot bileşiklerinin oksidasyonu ile oluşur, ancak toplam katkısı termal NO_x ile kıyaslandığında düşüktür. Doğal gaz kullanımında, yakıt kaynaklı NO fiilen sıfırdır. Bununla birlikte, Wobbe indeksini ve ısı değeri kontrol etmek üzere doğal gaza azot eklenebilir. 4.4.4.2.5'te ele alınan bu durum, oksijenli yanmalı fırınlardaki termal NO_x için özel önem arz eder.

Cam fırınlarındaki yüksek sıcaklıklar (1650 °C'ye, alevlerde 2500 °C'ye kadar) nedeniyle başlıca NO_x kaynağı, 1300 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yanma atmosferinde azotun oksidasyonundan kaynaklanan termal NO_x üretimidir. En önemli azot kaynakları yanma havası, atomizör havası (fuel-oil kullanan fırınlarda) doğal gazdaki azot içeriği (oksi-fuel yanma durumunda) ve fırına hava kaçışıdır. N₂ + O₂ → 2NO reaksiyonu ile oluşan NO baskın türdür (% 90 - 95). NO₂ seviyeleri çok düşüktür ve emisyonlarda tespit edilen NO₂ büyük ölçüde NO atmosferik oksidasyonundan kaynaklanır. Fırındaki koşullar, emisyonlarda nitroz oksit (N₂O) tespit edilmeyecek şekildedir.

Elektrikli fırınlarda NO_x yalnızca harman malzemesinin bozunmasıyla ortaya çıkar. Taş yünü kupol ocaklarında genel olarak bir indirgeyici atmosfer hakimdir ve NO_x emisyonları genellikle çok düşüktür. Bir son yakıcı sisteminin kurulu olması halinde emisyonlar ortaya çıkabilir. Böyle bir sistemin amacı, karbon monoksit ve hidrojen sülfürü yükseltgemektir.

Fosil yakıtla çalışan fırınlarda, diğer tüm faktörler sabit olduğunda, yakıt tüketiminin azaltılması termal NO_x emisyonlarını azaltır. Bu nedenle, enerji verimliliğini iyileştiren teknikler genellikle kg NO_x/ton ergitilen cam cinsinden ifade edilen toplam NO_x emisyonunun azalmasını sağlar. Bununla birlikte, özellikle atık gaz hacimleri de daha düşük olduğunda, emisyon derişimleri her zaman azalmaz. Termal NO_x azalması, çeşitli faktörlerin bir kombinasyonunun sonucudur, ancak bu faktörlerin en önemlileri daha düşük sıcaklıklar ve yanma havası miktarlarında azalmadır. NO_x emisyonlarını da azaltan, ancak esas olarak enerji tüketimini azaltmaya yönelik teknikler 4.8 kısmında anlatılmış ve burada ele alınmamıştır.

4.4.2.1 Yanma değışiklikleri

Açıklama

Termal NO_x oluşumu bir dizi kimyasal reaksiyonla belirlenir ve niteliksel olarak aşağıda gösterilen formülle tanımlanır.

$$\frac{d[NO_x]}{dt} = \frac{A}{T^{0.5}} \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \times [N_2] \times [O_2]^{0.5}$$

A ve B hız sabitleri olduğunda, T alev sıcaklığına (K), t T sıcaklığında kalma süresine (saniye) karşılık gelir. Tüm gazlar (NO_x, N₂, O₂) derişimlerle (gmol/m³) verilmiştir.

NO_x oluşumunu etkileyen temel faktörler dolayısıyla alev sıcaklığı, reaksiyon bölgesindeki oksijen içeriği ve alevin yüksek sıcaklık bölgesinde kalma süresidir. NO_x kontrolüne yönelik birincil tedbirler, NO_x oluşumu için en az elverişli koşulları, yani azot ve oksijenin yüksek sıcaklıkta eşzamanlı bulunmasından kaçınılan koşulların oluşturulmasını amaçlar. Termal NO_x için en aza indirmeye yönelik başlıca teknikler aşağıda özetlenmiştir.

a. Azaltılmış hava yakıt oranı

Fırına, özellikle brülör memelerinin etrafından ve harman malzemesi besleyiciden hava kaçaklarının olması, NO_x seviyelerini arttırabilir. Brülör tuğlasının sızdırmaz hale getirilmesi nispeten kolaydır ve harman besleme alanına hava girişini önlemek için belirli tedbirler alınabilir. Bu tedbirler nispeten ucuz ve oldukça etkilidir. NO_x giderimi doğal olarak başlangıçtaki seviyesine bağlıdır, ancak %10'a kadar çıkabilir. Genel olarak fırınlar, tam yanma sağlamak için % 5 - 10 fazladan hava ile (örn. % 1 - 2 fazladan oksijen) çalışır.

Hava/yakıt oranını neredeyse stokiyometrik seviyelere indirerek, önemli NO_x azaltımları elde edilebilir ve teknik ayrıca önemli enerji tasarruflarıyla da sonuçlanabilir; yine de harmandan inceltici madde kayıplarının önemli düzeyde olmasını önlemek ve cam kalitesini sağlamak için normalde biraz fazlalık hava gerekir. Tekniği etkin bir şekilde uygulamak için atık gazdaki NO, CO ve O₂ seviyelerinin izlenmesi gerekecektir. Yanma stokiyometrik altı ise, karbon monoksit seviyeleri ve refrakter aşınması artabilir ve camın redoks seviyesi değişerek camın kalitesini etkileyebilir.

Yanmada fuel oil kullanılırkenki, hava seviyeleri, petrol atomizasyonu için havaya alternatif olarak doğal gaz, yüksek basınç veya buhar kullanılarak daha da düşürülebilir. Bu, oksijen seviyelerini, dolayısıyla alevlerin pik sıcaklıklarını düşürür. Bu teknikle farklı sonuçlar elde edilmiştir; bazı uygulamalarda çok az fayda görülmüştür.

Sorunları önlemek ve en iyi sonuçları elde etmek için bu tür bir değişiklik dikkatlice ve aşamalı olarak uygulanmalıdır. Bazı durumlarda (örn. reküperatif fırınlar) fırının stokiyometrisinin bir bütün olarak dikkate alınması halinde, bazı brülör konumları fırının en sıcak kısımlarında fazlalık yakıtla, diğerleri ise daha soğuk kısımlarda biraz fazla hava ile ateşlenebilir. Genel olarak, oran stokiyometrik değere yakın olacaktır.

b. Azaltılmış yanma havası sıcaklığı

Alev sıcaklığı, yanma havası ön ısıtma sıcaklığı düşürülerek azaltılabilir. Örneğin, reküperatif fırınlardaki yanma havası sıcaklıkları rejeneratif fırınlardakinden önemli ölçüde daha düşüktür, bu da daha düşük alev sıcaklıkları ve daha düşük NO_x derişimleri ile sonuçlanır. Bununla birlikte, daha düşük ön azaltma sıcaklığı, daha düşük fırın verimliliği (daha düşük özgül ergitme gücü), daha düşük yakıt verimliliği ve dolayısıyla daha yüksek yakıt talebi ve potansiyel olarak daha yüksek NO_x, CO₂, kükürt oksit, partikül vb. emisyonları (kg/ton cam) ile sonuçlanır. Bu nedenle, genel olarak, bu tekniğin çevresel veya ekonomik fayda sağlama olasılığı düşüktür.

c. Kademeli yakma

Yakıt ve hava/oksijen, brülörde aynı yerde enjekte edilirse, porta yakın bir sıcak oksitleyici birincil bölge ve biraz uzağında bir soğuk ikincil bölge olmak üzere alev üretilir. NO_x büyük ölçüde en sıcak bölgede üretilir. Bu nedenle, brülöre enjekte edilen hava veya yakıtın oranının düşürülmesiyle azami sıcaklık ve NO_x oluşumu azaltılır. Kalan yakıt, hava veya oksijen daha sonra yanma bölgesine eklenir. Bu ilkenin uygulanması, hava kademelendirmesi veya yakıt kademelendirmesi olmak üzere her iki durumda da kademeli yanmanın temelidir.

Hava kademelendirmede, stokiyometrik altı ateşleme ve ardından yanmayı tamamlamak üzere kalan havayı veya oksijeni fırına ekleme işlemleri gerçekleştirilir. Hava veya oksijen kademelendirmenin birkaç yolu vardır. İlk sıcak hava kademelendirme deneyimlerinde sorunlarla karşılaşmıştır. ABD'de üfleme havası kademelendirme (BAS) ve oksijenle zenginleştirilmiş hava kademelendirme (OEAS) teknikleri geliştirilmiştir.

2010 yılı itibariyle, hava kademelendirme sürecinin uygulamaları hakkında mevcut bilgi bulunmamaktadır.

Yakıt kademelendirmenin dayandığı prensip, port boynunda düşük itkili gaz alevi (toplam enerjinin yaklaşık %10'u) oluşturulmasıdır. Bu ikincil alev, birincil alevin kökünü kaplayarak birincil alevin oksijen içeriğini ve merkezindeki sıcaklığı azaltır. Bu sayede NO_x oluşumu azalır. Teknik, cam sanayii tarafından ve çoğu konvansiyonel fırında yaygın olarak kullanılmaktadır. Belgenin yazıldığı dönemde (2010), bu yöntemin kullanılmasıyla daha fazla iyileştirme öngörülmemektedir.

d. Baca gazı devridaimi

Fırından çıkan atık gaz, oksijen içeriğini ve dolayısıyla sıcaklığını ve NO_x oluşum verimliliğini azaltmak için alev yeniden enjekte edilebilir. Bu tekniğin cam sanayiinde tam ölçekte uygulanmasında zorluklarla karşılaşmıştır. Baca gazlarının dahili devridaimini temel alan yenilikçi bir uygulama ('alevsiz yanma' veya 'alevsiz oksidasyon' olarak adlandırılır), Osram'ın Augsburg, Almanya'daki özel cam (aydınlatma) üreten bir reküperatif fırınında 2007'den beri faaliyettedir. Uygulanan sistem, atık gazın otomatik devridaimi ile özel 'Glass-FLOX®' teknoloji brülörlerin kullanımına dayanmaktadır. Bu durumda baca gazı devridaimi doğrudan yanma odasında gerçekleşir; yanan gazlar FLOX® alevlerini seyreltmek için kullanılır. Uygulamada gözlenen NO_x azaltım verimliliği, başlangıç değerinin % 46 – 59 aralığıdır. Ancak, bu uygulama halen gelişmekte olan bir teknik kabul edilmekte olup Bölüm 6.1'de açıklanmıştır.

e. Düşük NO_x brülörleri

Bu terim, NO_x oluşumunu en aza indirmek üzere tasarlanmış bir dizi tescilli veya cam şirketi brülör sistemlerini kapsamak için kullanılmaktadır. Bu sistemler farklı prensipleri temel alabilirler ve hem yukarıda, hem de aşağıda açıklanan bazı özellikler de dâhil olmak üzere çeşitli özelliklere sahip olabilirler. Gaz ateşleme sistemleri bazı yönleriyle fuel-oil kullanımlı sistemlerden ayrılır. Düşük NO_x brülör sistemlerinin temel özellikleri aşağıda verilmiştir.

- En yüksek alev sıcaklıklarını azaltmak için yakıt ve havanın daha yavaş karıştırılması (alev şekillendirme).
- Tam yanmanın gerçekleştiği asgari enjeksiyon hızları (gecikmeli ancak tam yanma).
- Cam eriyiğine ısı aktarımının optimize edilmesi ile alevin artan (radyasyon) yayılımı. Bu nedenle, sıcaklık seviyesi daha düşük olsa bile, yüksek alev parlaklığı (etkin ısı emisyonu) sayesinde erime için gerekli enerjiyi sağlayabilir.
- Farklı memeler ve meme tasarımları, brülör başına birden fazla yakıt jeti üretilmesini sağlar; bazı jetler diğer yakıt jetlerini havadan korur, oluşan duman ısı aktarımını ve alev soğumasını iyileştirerek NO_x oluşumunun azaltılmasını beraberinde getirir. Duman üretimi, camın kalitesi açısından sorun teşkil edebilir.
- Asgari hava/yakıt oranı ile tam yanma.

f. Yakıt seçimi

Cam sanayiinin genelindeki deneyim, gazla çalışan fırınların, fuel-oil kullanan fırınlardan daha yüksek NO_x emisyonlarıyla sonuçlanmasıdır. Aradaki fark, fırın tipi ve uygulamaya bağlı olarak büyük değişiklik gösterir, ancak sıklıkla gaz yakıtlı ve petrol yakıtlı işletim koşulları arasında % 25 - 40'lık bir varyasyon söz konusudur. Genel olarak doğalgaz yerine fuel oil kullanıldığında yaklaşık %5 enerji tüketimi tasarrufu gözlemlenmektedir. Bunun asıl nedeni, gaz alevlerinin fuel oil alevlerine göre daha düşük termal yayınlırlığa sahip olması, aynı ısı transferini cam eriyiğine sağlamak için daha yüksek alev sıcaklıkları ve dolayısıyla NO_x oluşumu için daha uygun olan koşulları gerektirmesidir. Fakat sanayide gaz ateşleme konusunda daha fazla deneyim elde edilmesi ve fırın tasarımlarının değişmesi ile birlikte, iki yakıt için NO_x emisyonları ve yakıt gereksinimleri arasındaki fark azalmıştır. Gaz yakıtlı fırınların kullanıldığı bazı uygulamalarda (örn. cam ambalaj) uygun alev ayarlamaları sayesinde yakıt verimliliği ve NO_x emisyonları giderek fuel oil ateşlemesiyle ilişkili değerlere yaklaşmaktadır. Bununla birlikte, fuel oil ve doğal gaz ile elde edilen enerji performansının karşılaştırılması, büyük ölçüde fırın ve brülör tasarımına bağlıdır.

Karışık petrol-gaz ateşlemesi, bir miktar doğal gaz kullanırken petrol alevi radyasyonunun avantajını bir dereceye kadar korur, ve bazı sektörlerde giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Daha önce de belirtildiği gibi, doğal gazın azot içeriği genellikle ihmal edilebilir düzeydedir, ancak bölgeden bölgeye değişebilen farklı yüzdelerde azot eklenebilir. Doğal gaza azot eklenmesi, örneğin ev eşyası (evsel) uygulamalarında güvenlik nedenleriyle sabit tutulması gereken Wobbe indeksini ve doğal gazın ısı değerini kontrol etmek için gerekli olabilir. Hollanda'da bu uygulama, % 11 – 14 azot içeriğiyle tedarik ağı seviyesinde gerçekleştirilir. Birleşik Krallık'ta, tedarik edilen gazdaki azot derişimi, ulusal

şebekeye göre ülke genelinde %0,1 ile %5,7 arasında değişebilir ve bu aynı zamanda diğer Üye Devletler, örneğin Portekiz, İtalya için de geçerlidir. Bu azot kaynağı, oksijen-yakıtla ateşlenen fırınlardan kaynaklanan NO_x emisyonları üzerinde özellikle önemli bir etkiye sahip olacaktır.

Gaz ve akaryakıt arasındaki seçim, Üye Devletlerin mevcut ekonomik koşullarına ve enerji politikalarına oldukça bağlıdır. Aynı zamanda, arz güvenliği sorunlarına bağlı olarak coğrafi ve mevsimsel olarak değişiklik gösterecek olan yakıt mevcudiyetine de bağlıdır. Örnek olarak Portekiz'de, cam ambalaj sektöründe doğal gaz hakim yakıttır ve çok az elektrik kullanılmaktadır.

Elde edilen çevresel faydalar

Bu yanma değiştirim teknikleri kullanılarak elde edilebilecek göstergesel emisyon azaltımları, her bir tekniğin açıklamasında verilmiştir.

Bu tekniklerin etkileri kümülatif değildir, zira bunlar çoğunlukla aynı genel hedeflere ulaşmanın farklı yollarıdır. Bu nedenle, bir teknik ile sağlanan % 10'luk bir azalma, başka bir teknikten elde edilenin üzerine % 10 olarak eklenemez.

Optimize edilmiş yanma sistemleri için genel emisyon azaltımları, % 10'un altından % 70'in üzerine kadar değişmektedir. Bu teknikler kullanılarak çok az işin yapıldığı veya hiç yapılmadığı bir fırın için, çoğu uygulamada NO_x emisyonlarında % 40 - 60 azalma beklenebilir.

Bu tekniklerle elde edilebilecek gerçek emisyon seviyeleri başlangıç noktasına, fırının yaşına ve tasarımına, ve özellikle tekniklerin uygulanmaları ve izlenmelerinde gösterilen özene bağlı olarak önemli ölçüde değişecektir. Düzgün bir şekilde uygulanmaları halinde, nispeten basit tedbirlerle büyük başarılar elde edilebilir. Son on yılda, cam sanayii, yanma değiştirimleri yoluyla NO_x emisyonlarının oluşumunu en aza indirmede önemli ilerleme kaydetmiştir ve bu işe oldukça önemli miktarda kaynak ayrılmıştır.

Cam ambalaj fırınlarına birincil tekniklerin uygulanmasına ilişkin 2005 yılı toplu verileri, ortalama NO_x emisyon derişiminin gazla çalışan fırınlar için 1000 mg/Nm³ ve fuel-oil kullanan fırınlar için 750 mg/Nm³ olarak belirtildiği Tablo 3.15'te sunulmuştur.

Ayrıca Tablo 4.15'te sunulan örnek tesislerle ilgili verilere göz atın.

Ortamlar arası etkiler

Tarif edilen tekniklerin çoğunun uygulanmasıyla bağlantılı ana ortamlar arası etki, fırındaki lokal stokiyometrik altı yanma koşullarına bağlı olarak karbon monoksit (CO) emisyonları, ve bunun karbon dioksit (CO₂) yükseltgendiği reküperatör ve rejeneratörlerdeki potansiyel sorunlardır.

Zaman zaman, yanma rejeneratörlerin üst kısmında tamamlanarak sıcaklık artışına sebep olabilir; bu da rejeneratörlerin yüzeyinde biriken sülfatların buharlaşma/bozunma etkisi nedeniyle daha yüksek seviyelerde SO_x emisyonları üretilmesine neden olur.

Yerel indirgeme koşulları da daha yüksek partikül emisyon seviyeleri ile cam eriyiğinden artan buharlaşmanın nedeni olabilir. Ayrıca, afinyasyon sürecinde verimlilik kaybı ve artan SO_x emisyon seviyelerini beraberinde getiren erken sülfat bozunması da gerçekleşebilir.

Alev yayınlırlığını iyileştirmek ve NO_x emisyonlarını azaltmak için doğal gazdan petrole geçiş, fuel oil kükürt içeriği ile bağlantılı olarak SO_x emisyonlarında önemli bir artışa yol açacaktır. Ayrıca, daha yüksek karbon yoğunluğu nedeniyle fuel oil kullanımı CO₂ emisyonları üzerinde etki yaratacaktır.

İşletim verileri

Genel olarak, arkadan ateşlemeli rejeneratif fırınların ortaya çıkardığı NO_x emisyonları, genellikle yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlara kıyasla daha azdır (bkz. 4.2) ve bu bölümde açıklanan teknikler genellikle arkadan ateşlemeli fırınlarda daha iyi sonuç verir. Cam ambalaj sektöründe, yandan ateşlemeli fırınlarda 700 - 1100 mg/m³ ve 0,9 - 2 kg/ton cam aralıklarında emisyon seviyelerine ulaşılmıştır. Arkadan ateşlemeli fırınlarda ulaşılan derişim seviyeleri ise 550 - 800 mg/m³ ve <1,5 kg/ton cam aralıklarındadır. Az sayıda olmakla beraber, belirli uygulamalar için bu seviyelerin altındaki değerler de rapor edilmiştir.

Rekuperatif fırınlarla ilgili sonuçlar daha çeşitlidir, ancak bunun nedeni bu fırınların daha değişken kullanımı olabilir. Rejeneratif fırınlar ile kıyaslanabilir (veya bazen daha düşük) nitelikte olan sonuçlara, cam ambalaj ve kesintisiz cam rekuperatif fırınlarında ulaşılmıştır.

Genel olarak, yanma değıştirim tekniklerinin hava/yakıt ateşlemeli cam fırınlarına uygulanmasıyla ilişkili karbon monoksit emisyonlarının (bacada ölçülen) 100 mg/Nm³'ün altında olması beklenmektedir.

Düşük kükürtlü fuel oil ile çalışan 650 ton/gün kapasiteli bir düz cam fırını için yıllık ortalama 38 mg/Nm³ (0,107 kg/ton erimiş cam) CO emisyon değeri rapor edilmektedir. NO_x emisyonları için karşılık gelen ortalama değeri 733 mg/Nm³tür (2,07 kg/ton erimiş cam). Hem CO hem de NO_x emisyon derişimleri sürekli ölçümleri referans alır.

400 ton/gün ergitme kapasiteli, doğal gaz veya fuel oil/gaz karışımı ile çalışan ve cam ambalaj üreten bir rekuperatif fırın için 30 mg/Nm³'lük bir CO emisyon seviyesi rapor edilmiştir. Fırında, yaklaşık 500 mg/Nm³ (1 kg/t) NO_x emisyon seviyelerine ulaşan düşük NO_x brülörleri kullanılmaktadır. Hem CO hem de NO_x emisyon derişimleri, spot ölçümlerin sonucudur. [165, Fransa 2010]

Normalde oksitleyici koşullarda (yanma için fazla hava, oksijenle zenginleştirme) ve önemli miktarlarda nitrat içeren bir dizi harman formülasyonu ile (bkz. 3.10.2.2) çalışan küçük boyutlu fırınların kendine has özelliklerinden dolayı, birincil tekniklerin cam frit sektörüne uygulanmasının diğer cam sektörleriyle aynı sonuçları vermesi beklenmemektedir.

Yanma değıştirimlerinin kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.14'de gösterilmektedir.

Tablo 4.14: Yanma değıştirimlerinin temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u>
- Nispeten düşük maliyetler - Çoğu fırın türü için NO_x emisyonlarında önemli düşüşler elde edilebilir - Yeni ve mevcut fırınlara uygulanabilir (ancak bazen sadece onarım sırasında) - Bu teknikler genellikle önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayabilir - Daha düşük fırın sıcaklıkları ve enerji kullanımı da toplam emisyonları azaltır
<u>Dezavantajlar:</u>
- En iyi sonuçların elde edilmesi yüksek düzeyde uzmanlık gerektirir (hem devreye alma hem de normal çalışma esnasında) - En iyi sonuçları elde etmek için fırın tasarımında değışiklik yapılması gerekebilir - İnyük değışiklikleri nedeniyle cam kalitesinde meydana gelebilecek sorunları önlemeye dikkat etmek gerekir - Refrakter hasarını önlemek için CO seviyeleri kontrol altında tutulmalıdır Ayrıca, CO seviyeleri, cam eriyiğinden aşırı buharlaşmayı ve harman örtüsündeki sülfatların erken ayrışmasını önlemek için kontrol edilmelidir. - Daha indirgen atmosfer, artan buharlaşma ve ayrışma etkileri nedeniyle SO₂ emisyonlarının artmasına neden olabilir

Ergitme fırınına uygulanan yanma değişimleri ile ilişkili bazı NO_x emisyon seviyeleri örnekleri Tablo 4.15'te sunulmaktadır.

Tablo 4.15: Yanma değişimlerinin uygulanmasıyla ilişkili NO_x emisyon seviyeleri örnekleri

	Cam ambalaj ⁽¹⁾	Cam ambalaj ⁽²⁾	Düz cam ⁽²⁾	Düz cam ⁽²⁾	Cam ev eşyaları
Yakıt	Doğalgaz	Doğalgaz + fuel oil	Fuel oil	Doğalgaz + fuel oil	Fuel oil
Fırın tipi	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	Arkadan ateşlemeli, rejeneratif	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	Arkadan ateşlemeli, rejeneratif
Toplam ergitme kapasitesi	350 ton/gün	300 ton/gün	350 ton/gün	800 ton/gün	125 ton/gün
Gerçek ergitme hızı	275 ton/gün	297 ton/gün	259 ton/gün	700 ton/gün	110 ton/gün
Elektrikle destekleme	Hayır	Evet	Evet	Evet	Hayır
Cam türü	Renksiz cam	Bal rengi	Dökme cam	Yüzdürme cam	Belirtilmemiş
Kırık	% 60	% 72	% 30	% 35	% 40
Birincil tedbir türü	Azaltılmış yakıt/hava oranı; sızdırmazlık önlemleri; fırın tasarımı; brülör değiştirimi	Azaltılmış yakıt/hava oranı; sızdırmazlık önlemleri; lambda ayarı; fırın tasarımı; brülör değiştirimi	Azaltılmış yakıt/hava oranı; sızdırmazlık önlemleri; lambda ayarı; fırın tasarımı; brülör değiştirimi	Azaltılmış yakıt/hava oranı; sızdırmazlık önlemleri; lambda ayarı; fırın tasarımı; brülör değiştirimi	Sızdırmazlık önlemleri; lambda ayarı
Özgül enerji tüketimi	3,78 GJ/t cam	4.21 GJ/t cam	5,71 GJ/t cam	5,20 GJ/t cam	4.97 GJ/t cam
İlişkili emisyon seviyeleri (NO_x emisyonları)					
mg/Nm ³ , % 8 O ₂ içeren kuru gaz	909	507	780	750	827
kg/t erimiş cam	1,42	0,82	1,89	1,54	1,71
⁽¹⁾ Fırın, bir harman ve cam kırığı ön ısıtıcısı ile donatılmıştır. ⁽²⁾ Fırınlarda ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır. Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]					

Uygulanabilirlik

Prensip (ve yukarıda belirtilen sınırlamalar dâhilinde) bu teknikler bütün konvansiyonel fosil yakıtlı fırınlara uygulanabilir olup, çoğunluğu hem mevcut hem yeni fırınlara uygulanabilir. Bununla birlikte, bazı teknikler (örneğin düşük NO_x brülörleri) yalnızca yeni bir fırın veya yenileme ile elde edilebilecek optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birleştirildiğinde tam olarak faydasını gösterir.

Bu tekniklerle elde edilen başarı, işletmecinin uzmanlık derecesine ve bilimsel dayanağa da bağlı olabilir. Sistemleri optimize etmek için, sürekli olarak kademeli deneme ve izleme süreci ile yüksek derecede teknik uzmanlık ve deneyim şarttır. Bu kaynaklara sahip olmayan işletmeciler, fırın için yanma değişimleri ve optimizasyonu konusunda uzman danışmanların hizmetlerine başvurabilir. Bu geliştirme çalışması doğal olarak tekniklerin maliyetini artıracaktır.

Tekniklerin uygulanabilme derecesi de ürün ve proses gereksinimlerine bağlı olarak değişecektir. Örneğin, bazı cam ev eşyalarının veya cam ambalaj (lüks şişeler veya flakonlar) üretiminde ürün kalitesi kısıtlamaları dolayısıyla yüksek düzeyde oksitlenmiş, çok berrak bir cam arzu edilir.

Bu da, daha yüksek kalma süreleri, daha yüksek sıcaklıklar ve oksitleyici madde kullanımını getirir; tüm bunlar NO_x emisyonlarını artırır ve yukarıda açıklanan bazı tekniklerin kullanımını sınırlar. Bu örnek, aşağıdaki 4.4.2.2 kısmında daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Tüm cam sektörlerinde gözlenen eğilim, mümkün olduğunda bu tekniklerin kullanımını genişleterek süreci sürekli olarak iyileştirmek, ve birincil tekniklerin kullanımıyla gelecekte beklenebilecek emisyon seviyelerini tespit etmeye çalışmaktır.

Ekonomi

Maliyetler; ayarlanabilir brülörler, rejeneratörler için daha pahalı refrakter malzemeler, oksijen sensörleri (yandan ateşlemeli fırınlar için, daha fazla oksijen sensörü ve arkadan ateşlemeli rejeneratif fırınlara kıyasla daha karmaşık bir kontrol sistemi gereklidir), hava-yakıt oranı kontrol ünitesi, bakım ve brülör ayarlarını kontrol eden veya değiştiren işgücü masraflarından meydana gelir.

Brülör değişimleri ve brülör tuğlalarındaki değişiklikler, tipik olarak, arkadan ateşlemeli fırınlar için 50000 ila 100000 Avro ve yandan ateşlemeli fırınlar için 300000 ila 400000 Avro'ya mal olacaktır. Bir oksijen sensörü sisteminin maliyetleri, tipik olarak, arkadan ateşleme için 20000 ile 25000 Avro ve yandan ateşlemeli fırınlar için 60000 ile 125000 Avro arasındadır [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008].

Fırın tasarımında değişiklik durumunda, refrakter malzemeler ve çelik konstrüksiyon için ekstra yatırım maliyetleri hesaba katılmalıdır; bu da, yüzdürme cam fırınları için 2 milyon Euro'ya ve arkadan ateşlemeli cam ambalaj fırınları için 700000 Euro'ya kadar çıkabilir.

Yakma değişimlerinin maliyetleri nispeten düşüktür ve bazen enerji tasarruflarından kaynaklanan işletme maliyetleri tasarrufları ile dengelenebilirler. Brülör maliyetleri, ek maliyetleri değil, değiştirme maliyetlerini temsil eder; yeni bir fırın için ekstra maliyetler çok düşük olacaktır. Hava kademelendirmeli yakma sistemleri çok daha pahalı olabilir.

Formülasyon optimizasyonu ile birlikte kullanılan bu birincil teknikler, genel olarak ikincil önlemler tekniklerinden çok daha ucuzdur. Karşılaştırmalı maliyetler 8.1.7'de sunulmuştur.

Uygulamanın itici gücü

NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil önlemlerin iyileştirilmesi ve uygulanması, NO_x oluşumunu önlemek için alınan eylemlerin genel olarak, boru sonu tekniklerinden daha iyi bir genel çevresel etkiye sahip olduğu ilkesine dayanmaktadır. Bu etkilere, daha az ekonomik yük ve diğer kirleticilerin (örn. CO₂) azaltılmasını beraberinde getiren enerji tasarrufu potansiyeli de dâhildir. Aynı fırın üzerinde hem birincil hem de ikincil tedbirleri uygulamak teknik olarak mümkün olsa da, bunun çevresel veya ekonomik olarak gerekli olup olmadığına dair bütüncül bir ekonomik ve ortamlar arası değerlendirme yapılmalıdır. Özellikle, birincil tedbirler belirli bir emisyon düzeyini sağlamış veya sağlaması öngörülyorsa, ikincil önlemlere yapılan ek harcamaların gerekli olup olmadığı kararı, öncelikle bu birincil önlemlerle nelerin elde edilebileceği göz önünde bulundurularak verilmelidir.

Örnek tesisler

2005 yılında cam ambalaj sektöründe 76'dan fazla fırın birincil teknikleri uyguluyordu. Diğer cam sektörleri de bu tekniklerden birini veya birkaçını başarıyla uygulamaktadır. Avrupa ve ABD'deki birçok fırın, yanma sürecini (hava-yakıt oranı) kontrol etmek için ayarlanabilir brülörler ve oksijen sensörleri kullanır. Bu, cam ambalajı, cam ev eşyası, düz cam ve özel cam sektörleri için geçerlidir.

Referans literatür

[33, Beerkens 1999] [64, FEVE 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] [88, FEVE Önerisi Bl.4-NO_x 2007] [117, GWI, VDI-Berichte Nr.1988 2007] [118, CTCV MET-Ref revizyonu 2007 verileri]

4.4.2.2 Harman formülasyonu

Nitratlar, cam üretiminde oksitleyici maddeler olarak kullanılır. En yaygın olarak kullanılan nitrat çeşidi, açık ara sodyum nitrattır; ancak bazı özel cam uygulamalarında potasyum veya baryum nitrat da kullanılır. Sodyum nitrat (NaNO_3), afinasyon (eriyikten oksijen gazının salınması) sürecinden önce genellikle oksitlenmeyi veya en oksitlenmiş hallerinde tutulmayı gerektiren arıtma maddeleriyle (örn. As_2O_3 , Sb_2O_3 , CeO_2) birlikte kullanılır. Böylelikle sodyum nitrat afinasyon sürecinde dolaylı olarak yer alır, ancak çoğu uygulamada tercih edilen arıtma maddesi sodyum sülfattır. ErgitErgitme işlemi sırasında nitratlar NO , NO_2 , N_2 , ve O_2 oluşturmak üzere ayrışır. Eriyiği oksitleyerek (özellikle Fe^{2+} demirden Fe^{3+} demire) çok berrak bir cam sağlamak ve harman materyallerinde bulunan organik bileşikler oksitlemek üzere O_2 kullanılır. Nitratların kullanımı, cam sanayiinin çeşitli sektörleri arasında büyük farklılıklar göstermektedir. Bazı çok yüksek kaliteli ürünler (lüks şişeler veya parfümeri ve kozmetiğe yönelik flakonlar), çok renksiz ürünler veya gri veya bronz cam gibi yoğun renkli camlar üretmek dışında, düz cam veya cam ambalaj sektörlerinde kullanımları nadirdir. Cam ev eşyaları sektöründe nitratlar, yüksek optik netlik ve bu nedenle düşük Fe^{2+} seviyeleri gerektiren bazı yüksek kaliteli ürünlerde kullanılır. Nitratlar, frit sektöründe, ve özel cam sektöründe TV (katot ışın tüpleri), borosilikat, seramik ve optik camlar için sıklıkla kullanılmaktadır. [99, ITC-C080186 2008]

Çok oksitlenmiş camlar üreten veya organik bileşikler içeren hammaddelerin ergitildiği (örn. cam yünü atığı) elektrikli fırınlarda da oksitleyici madde olarak nitratlara ihtiyaç duyulabilir.

Cam yünü üretiminde, özellikle formülasyona yüksek miktarlarda geri dönüştürülmüş cam eklendiğinde, harman bileşiminde bulunan organik malzemenin yanması sırasında oksijen tüketimini telafi etmek için nitratlar sıklıkla kullanılır. Frit üretiminde gerekli özellikleri elde etmek için nitratlar birçok ürünün harmanında bulunmaktadır. AB'deki toplam cam üretiminin % 7 – 9'unda önemli miktarlarda nitrat kullanıldığı tahmin edilmektedir. Tipik olarak yaklaşık % 0,5 – 1 miktarında nitrat, yani ton cam başına 5 – 10 kg NaNO_3 eklenir. TV camı veya frit üretimi gibi bazı işlemler için bu oran % 4'e kadar, hatta bunun da üzerine çıkabilir. NO ve O_2 ergitergitme sırasında salınan başlıca gazlardır ve yalnızca düşük miktarlarda N_2 ve NO_2 oluşur. Harmana eklenen %1 nitrat için maksimum NO_x emisyonu 5,4 kg/ton camdır. Bu değer, %8 O_2 değeri (örn. tipik cam ev eşyası fırını) için yaklaşık 2200 mg/ Nm^3 e eşdeğerdir. Nitratlardan kaynaklanan gerçek NO_x emisyonları bu azami değer için % 30'u ile 80'i arasında seyretmekte olup, endüstriyel koşullar altında tipik değer yaklaşık % 50 – 65'tir, bununla birlikte değer aralığının tamamından örneklerle sıklıkla karşılaşılmaktadır.

Nitrattan salınan NO miktarı, ısıtma hızına, harmanın redoks durumuna ve nitrat içeren harman örtüsüyle temas eden gazların indirgeme (indirgeyici alevler) etkisine bağlıdır.

Nitratlar yerine kullanılabilir etkili alternatifler çevresel ve ekonomik hususlarla sınırlıdır. Örneğin, sülfatlar bir alternatif olabilir; ancak gerekli miktar çok daha yüksektir (nitratların üç katından fazla) ve SO_2 salınır. Arsenik oksitler de kullanılabilir, ancak çevresel nedenlerle mümkün olan her yerde bunların kullanımı aşamalı olarak bırakılmaktadır. Seryum oksit bazı durumlarda kullanılabilir, ancak sodyum nitrattan kat kat daha pahalıdır. Bazı proses değişimleri de nitrat gereksinimini azaltabilir, ancak bunlar genellikle kalite hususları, enerji gereksinimleri, üretim kısıtlamaları veya termal NO_x üretimi nedeniyle uygulanamaz.

Sonuç olarak, sanayideki güncel görüş, nitrat seviyelerinin deneyler yoluyla ürün ve ergitergitme gereksinimlerinin izin verdiği ölçüde en aza indirilebileceği yönündedir; ancak ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı halen (2010 itibarıyla) etkili bir alternatif mevcut değildir.

Pek çok Üye Devletteki mevzuat, nitrat ilavesi gerektiren camlar için normal NO_x emisyon sınırının iki katına çıkarılmasına izin vermektedir. Bu yaklaşım, genel olarak 2008/1/AK sayılı Direktifin hedeflerine uygun olarak değerlendirilmemektedir; eklenebilecek geniş nitrat miktarı aralığını göz ardı eder ve nitrat kullanımını en aza indirmeye yönelik teşvikte bulunmaz.

Ayrıca, yalnızca az miktarlarda nitrat eklenen işlemler için emisyon sınırının iki katına çıkarılması, yüksek termal NO_x emisyonlarını maskeleyebilir ve ateşleme koşullarını optimize etmeye yönelik teşviki azaltabilir.

Nitratların eklenmesi ergitergitme işlemine özel bir durum değildir. Genelde, nitrat gerektiren camların kullanımlarıyla bağlantılı başka özel kısıtlamalar da vardır. Örneğin, soda-kireç camı sofra gereçleri veya lüks ambalajlar için ergitergitme işlemi, yalnızca nitrat kullanımı değil, aynı zamanda diğer bazı faktörler bakımından da cam ambalaj üretiminden farklıdır. Bunlar; kalma süresi (en az % 50 daha uzun), eriyiğin içinde ve fırında çok daha yükseltgen koşulların gerekliliği ve daha yüksek cam sıcaklıklarıdır (50 ila 100 °C daha yüksek). Bütün bunlar, birim cam üretimi başına NO_x emisyonu artışını destekler, ve bu emisyonlar arkadan ateşlemeli rejeneratif fırınlarda gerçekleştirilen cam ambalaj üretimine kıyasla 2 ila 3 kat daha fazla olabilir.

Nitrat ilavesini azaltma yöntemlerinin maliyetlerinin ve ulaşılacak emisyon seviyelerinin ölçümü oldukça zordur; bunlar büyük ölçüde başlangıç noktasına bağlıdır ve duruma özeldir.

4.4.2.3 Özel fırın tasarımları

NO_x emisyonlarına ilişkin endişeler, bir takım fırın tasarımcılarının daha düşük alev sıcaklıklarına ve dolayısıyla daha düşük NO_x seviyelerine izin veren çeşitli özelliklere sahip reküperatif fırınlar önermesine yol açmıştır. Bu tip fırınlardan en iyi bilineni LoNO_x® ergiticidir. Mevcut başka bir tasarım, başlangıçta süresiz uygulamalarda kullanılması amaçlanan, ancak şimdiye kadar çoğunlukla sürekli uygulamalarda yer alan Flex® ergiticidir. Flex® ergiticinin, LoNO_x® ergiticiyle karşılaştırılabilir NO_x emisyonlarına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Flex® ergiticinin kısa bir açıklaması 2.3.7'de verilmiştir, ancak burada yalnızca LoNO_x® ergitici ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Ayrıca NO_x emisyonlarını azaltmak amacıyla rejeneratif tip fırınların tasarımı değiştirilebilir. Ancak bu uygulamalar hakkında detaylı bilgi mevcut değildir. Genel olarak, NO_x oluşumu/sınırlaması ile ilgili olarak fırın tasarımına ilişkin önemli parametreler şunlardır:

- brülör tipi
- işletilen brülör sayısı
- brülör açıları
- port açısı
- portnın boyutu (havanın yanma odasına girme hızını belirler)
- brülör/port ile eriyik arasındaki mesafe
- yanma odasının yüksekliği ve boyutu (genel olarak, artan boyutlar, daha düşük NO_x emisyonları ve cam fırınında biraz artan enerji tüketimi ile ilişkilendirilir)
- yanma odası ile orantılı olarak alevin geometrisi.

Açıklama

Sorg LoNO_x® ergitici, termal verimliliği koruma potansiyeline sahip, daha düşük NO_x seviyelerine ulaşmak için sıg banyoda arıtma ve hammadde ön ısıtmasının bir kombinasyonunu kullanan bir fırındır.

Yanma havası ön ısıtması reküperatiftir ve rejeneratif bir fırına kıyasla yanma havasının ön ısıtmasındaki azalmayı telafi etmek için iki aşamalı hammadde ön ısıtması kullanılır. Ana brülörlerden çıkan atık gazlar, reküperatörlere girmeden önce geniş bir ön ergitergitme bölgesinde fırına giren hammaddelerin üzerinden geçirilir. Reküperatörlerden çıktıklarında, atık gazlar sistemi terk etmeden önce bir yabancı kırıntı ön ısıtıcısından geçirilir.

Sıg banyo arıtıcısı, kritik akım yolunu cam banyosunun yüzeyine doğru yönlendirerek bu yüzey ile fırının üstyapısı arasındaki sıcaklık farkını azaltır.

Fırın, benzer bir konvansiyonel fırından daha düşük sıcaklıklarda çalıştırılabilir.

LoNO_x[®] ergitici uzun ve dar bir yapıya sahiptir ve üç kısma ayrılmıştır. İlk kısım, kırıntı ve harmanın ön ısıtması ve ardından ön ergitergitmesi için kullanılır. Bunun ardından cam banyosu derinliğinin 400 mm'ye (veya daha azına) düşürüldüğü birincil afinasyon alanı gelir. Derin bir arındırıcı, tankı tamamlar.

Isıtma ergitergitme alanındaki, ve daha çok arıtma alanındaki gazlı veya petrolü brülörler ile sağlanır. Atık gazlar, fırının ilk kısmından harmanın ve kırıntılarının üstüne verilir ve sonucunda malzeme ön ısıtması gerçekleşir. Fırın, içine giren hammaddelerin daha sıcak kısımlardan gelen ısımayla doğrudan ısıtılmasını engellemek üzere iç duvarlarla bölünmüştür. Böylelikle hammadde ile gazlar arasındaki yüksek sıcaklık farkı korunur ve verimli ısı aktarımı sağlanır.

Ön ısıtma alanında konveksiyon akımlarının korunmasına yardımcı olmak ve harman örtüsünün altında nispeten düşük sıcaklıklardan kaçınmak için az miktarda elektrik desteği sağlanabilir. Bu etkiye, ergitergitme bölgesinin sonuna doğru yerleştirilmiş gaz vericiler yardımcı olur.

LoNO_x[®] ergiticinin önemli bir parçası olan dış kırık ön ısıtıcısı, reküperatörü takiben konumlandırılır. Bu, sıcak atık gazların ve ısıtılacak cam kırıklarının birbiri ile temas halinde olduğu direkt ısıtma sistemidir. Kırık ve atık gaz birbirine çapraz olarak akar.

Kırıntı, kule biçimli yapıya tepeden girer ve yavaşça aşağıya, çıkışa doğru ilerler; atık gazlar ise aşağıdan girer ve üstte dışarı atılır. Ön ısıtıcının içinde, atık gazları kırık sütunu boyunca daha eşit bir şekilde dağıtan panjur tipi kanatlar bulunur. Cam kırıklarının ön ısıtıcıda kalma süresi yaklaşık beş saattir. Atık gazlar ön ısıtıcıya tipik olarak 500 °C'de girer ve 200 °C'de çıkar. Tipik kırık ön ısıtma sıcaklığı ise yaklaşık 350 °C'dir.

Elde edilen çevresel faydalar

Daha düşük yanma sıcaklıkları nedeniyle oldukça düşük NO_x seviyeleri elde edilmiştir. LoNOX[®] ergitici için bildirilen 500 mg/Nm³ altındaki emisyon değerleri ton erimiş cam başına <1 kg NOX'e eşdeğerdir. Artan işletim deneyimi ve yanma optimizasyon tekniklerinin uygulanmasıyla daha düşük emisyonlar mümkün olabilir.

Teknik, iyi enerji verimlilikleri sağlayabilir; % 90-95 oranında kırık ve %3'lük elektrik desteği ile elde edilen değer ton ergitilen cam başına yaklaşık 3,3 GJ'dür. Bu rakam, birincil enerji için düzeltilmemiş olsa da, modern rejeneratif fırınlara göre daha iyidir; bununla birlikte tüketim sonrası kırık olmaması nedeniyle %90 – 95 gibi yüksek kırık seviyelerinin sürdürülmesi zor olabilir ve bu da enerji performans rakamlarını etkiler.

Normal işletim koşulları için, özgül enerji tüketimi aynı klasmanda bir rejeneratif fırının değerleriyle benzerdir.

Günde 358 ton cam ambalaj üreten ve harman bileşiminde %80 kırık bulunan bir LoNO_x[®] fırının performans verileri, enerji tüketimini ton cam başına 4,0 GJ (elektrikli destekleme dâhil ancak birincil enerji hesaba katılmadan) ve %8 oksijen içeriğiyle ölçülen NOX emisyonlarını 336 mg/Nm³ olarak göstermektedir. [75, Almanya-HVG Cam sanayii raporu 2007]

Ortamlar arası etkiler

LoNO_x[®] fırını, hammaddede bulunan metallerin ve asit gazlı bileşenlerin (SO_x, HCl, HF) emisyonlarında artışa neden olabilecek yüksek kırık miktarlarıyla çalışmak üzere tasarlanmıştır.

Cam derinliğinin az olması nedeniyle, tasarımın doğal bir özelliği, fırının uzun ve dar olmasıdır ve belirli bir ergitergitme hızı için fırın alanı bir konvansiyonel reküperatif fırın tasarımına kıyasla çok daha büyük olabilir.

Bu durum, alan gereksinimini, sermaye maliyetini, fırın için kullanılacak ve kullanım ömrü sonunda elden çıkarılacak inşaat malzemesini artırır.

Tüm cam kırığı ön ısıtma sistemlerinde olduğu gibi, kokulu maddeler ve potansiyel olarak dioksinler/furanlar dâhil olmak üzere organik türlerin emisyonları mümkündür. Ölçümler, dioksin emisyonlarının $0,1 \text{ ng/Nm}^3$ I-TEQ'dan (toksisite eşdeğeri) az olduğunu göstermiştir. Bu konular 4.8 kısmında daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

İşletim verileri

Gönderilen veriler açıklamaya dâhil edilmiştir.

Uygulanabilirlik

Özel fırın tasarımlarının tekniği, yüksek kırık seviyeleri olmadığında elde edilmesi zor olan harman bileşiminin iyi ön ısıtmasına dayanır. Bu fırınlar esasen yalnızca yüksek seviyelerde, yani %70'in üzerinde kırık kullanıldığında uygundur. Bu nedenle, belgenin yazıldığı dönemde (2010), teknik yalnızca cam ambalaj sektöründe ve $> \%70$ kırıntı içeren fırınlarda uygulanabilmektedir. Tekniğin kurulumu yalnızca fırının tamamen yenilenmesi sırasında yapılabilir.

Ayrıca, tankın boyutlarından (uzun ve dar) dolayı alan kısıtlamalarının söz konusu olduğu yerlerde uygulanabilirlik sınırlı olabilir.

Ekonomi

1998'de günde 350 ton kapasiteli bir cam ambalaj fırını için bu tekniğin ekstra işletme maliyetlerinin önemsiz olduğu, ancak ekstra sermaye maliyetinin 1,8 milyon Avro civarında olacağı tahmin edilmiştir. Güncel olarak başka bilgi mevcut değildir.

Uygulamanın itici gücü

Veri gönderilmedi.

Örnek tesisler

Wiegand & Söhne, Steinbach am Wald, Almanya - cam ambalaj.

Referans literatür

[60, SORG 1999][20, Ehrig ve ark. 1995] [75, Almanya-HVG Cam Endüstrisi raporu 2007] [7, Ind.duVerre 1996],

4.4.2.4 FENIX süreci

Açıklama

FENIX süreci, yandan ateşlemeli rejeneratif yüzdürme fırınların yanma optimizasyonuna ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik bir dizi birincil tedbirin kombinasyonuna dayanmaktadır. 4.4.2.1'de açıklanan yanma değiştirim tekniklerinde olduğu gibi, FENIX için yanma optimizasyonu aşağıdakilerle ilgilidir:

- fazla yanma havasının azaltılması;
- alev sıcaklıklarının homojenleştirilmesi sayesinde sıcak noktaların bastırılması; ve cam kalitesi sorunlarına veya karbon monoksit emisyonlarına yol açmadan yakıt ve yanma havasının kontrollü bir şekilde karıştırılması.

Bununla birlikte, FENIX süreci ayrıca yanma sisteminin tümünde değişikliğe gidilemesini ve özellikle yeni tip enjektörlerin kullanımını gerektirir. Bu enjektörlerin tescilli patentleri vardır, kullanılan enerji türüne (gaz, ağır petrol veya karışık enerji) bağlı olarak farklılık gösterir ve aşağıdakileri içeren yeni fırın tasarımlarıyla ilişkilendirilir:

- ergitergitme hızına da bağlı olan genel boyutlar (uzunluk, genişlik, cam derinliği)
- portnın tasarımı
- rejeneratörler (ayrı odalar).

Teknoloji, gaz, ağır petrol veya iki enerji kaynağının da kullanıldığı fırınlarda uygulanabilir. Yanma kontrolü şu şekilde sağlanır:

- fuel oil atomizasyonu için havanın azaltılması, özel soket plaka tasarımları, soğuk hava girişlerinin ortadan kaldırılması ve fırınların bakımı yoluyla fazla yanma havasının en aza indirilmesi;
- özellikle boşluktaki enjektörlerin sayısı, türleri ve konumlarının (açılarının) optimizasyonu yoluyla yakıt/hava karışım oranının azaltılması.

Teknik ayrıca fırın kontrol sisteminin gözden geçirilmesini ve belirli fırın parametrelerini izlemeye yönelik yöntemlerinin kurulumunu içerir. Örneğin, fazla yanma havası seviyesinin daha iyi kontrolünü sağlamak için rejeneratör odalarının tepesine oksijen sondaları yerleştirilir.

FENIX tekniğinin temel özellikleri patent başvurusunda [38, FENIX 1998] anlatılmıştır ve 1998'den bu yana kaydedilen gelişmeler patent tescili altındadır.

Elde edilen çevresel faydalar

FENIX süreci, 700 ve 800 mg/Nm³ arasındaki NO_x emisyonlarının sürekli stabilizasyonuna izin verir. Örneğin, yandan ateşlemeli bir yüzdürme cam fırını çalıştıran (aşağıdaki Şekil 4.6'ya bakınız) Stolberg tesisinin NO_x emisyonları, Şubat 2005'ten bu yana 800 mg/Nm³'ün altında dengelenmiştir, bu da ton erimiş cam başına 1,7 kg NO_x değerinden daha düşük bir özgül emisyon katsayısına karşılık gelir.



Şekil 4.6: FENIX sürecinden kaynaklanan NO_x emisyonları

Ortamlar arası etkiler

Bu belgenin (2010) yazıldığı tarihte, ortamlar arası etkiler değerlendirilmemiştir.

İşletim verileri

2001 yılında kabul edilen Cam MET-Ref'de bildirildiği üzere, Fransa'daki o dönem fuel oil ile çalışan Aniche tesisinde ilk deneme, patent başvurusunda [38, FENIX 1998] açıklanan yanma sistemi değişiklikleri yapıldıktan sonra gerçekleştirilmiş, kısa bir test periyodu sırasında 510 – 580 mg/Nm³ (ton erimiş cam başına 1,25 kg NO_x) emisyon performansı gözlenmiştir.

Bu fırın şu anda (2010) %60 gaz ve %40 ağır petrol ile çalışmaktadır; NOX emisyonları ise sürekli olarak 700 – 800 mg/Nm³ aralığında testler sırasında ulaşılandan daha yüksek bir değerde dengelenmiştir.

Bu esnada, Fenix süreci aynı emisyon aralığına (700 ile 800 mg/Nm³ arasında) ulaşılan diğer fırınlara da uygulanmıştır.

Uygulanabilirlik

FENIX süreci, uzman bir ekip tarafından dikkatli uygulama gerektirir. Avrupa'da en az dokuz Saint-Gobain Glass fırınında tamamen geliştirilmiş durumdadır. Teknik, fırının tasarımı ve yapımı sırasında doğrudan entegre edilirse yüzdürme işlemleri için kullanılabilir.

Saint-Gobain Glass, ruhsat koşulları konusunda anlaşma sağlanması koşuluyla, FENIX teknolojisi için diğer cam üreticilerine basit bir ruhsat vermeye hazır olduğunu 2001'de belirtmiştir. Ancak, bu tekniğin uygulanması, tedarikçi tarafından fırının önceden incelenmesini gerektirdiğinden, gizlilik sorunları diğer cam üreticileriyle yapılacak böyle bir girişimi oldukça zor kılmaktadır. Bu belgenin (2010) yazıldığı tarihte, bu teknik yalnızca yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlara uygulanmıştır ve kendine has özellikleri nedeniyle diğer fırın teknolojilerine genişletilmesi olası değildir.

2001 tarihli Cam MET-Ref içeriğinde rapor edilen, Aniche tesisinde elde edilen ilk sonuçların gösterdiği eğilimlerin başka yakıtların kullanıldığı başka fırınlarda da tekrarlanmasıyla, NO_x emisyonlarının tutarlı olarak 700 – 800 mg/Nm³ aralığında dengelenebileceği sonucuna varılmıştır.

Ekonomi

Fırın değişimleri (refrakterlerin yüksek maliyet kalemi), yeni brülörler ve iyileştirilmiş kontrol sistemleri dâhil olmak üzere sermaye maliyetleri, enerji kaynağının en azından bir kısmı fuel oil olan mevcut bir fırına uygulama için yaklaşık 1,5 milyon Avro tutarındadır. Yeni bir tesis veya yenileme için, ekstra maliyetler daha düşük olup yaklaşık 1 milyon Avro tutarındadır. Ayrıca, ruhsat ücretleri ve tekniğin uygulanması için gerekli zaman ve uzmanlık da göz önünde bulundurulmalıdır.

Uygulamanın itici gücü

Veri gönderilmedi.

Örnek tesisler

Saint-Gobain Glass, Stolberg, Almanya - yüzdürme cam
Saint-Gobain Glass Herzogenrath, Almanya - yüzdürme cam
Saint-Gobain Glass, Chanteraine, Fransa - yüzdürme cam
Saint-Gobain Glass, Aniche, Fransa - yüzdürme cam.

Referans literatür

[25, FENIX 1998] [65, GEPVP-GLS revizyonu 2007 için öneriler] [38, FENIX 1998]

4.4.2.5 Oksi-fuel ergitergitme

Açıklama

Oksi-fuel ergitergitmede, yanma havası yerine oksijen (>%90 saflıkta) kullanılır. Teknik, yakıt olarak doğal gaz veya petrol ile birlikte kullanılabilir, ancak gaz kullanımı daha yaygındır. Yanma ortamındaki azotun büyük ölçüde ortadan kaldırılması, atık gaz hacmini (büyük ölçüde CO₂ ve su buharından oluşan) oksijen saflığına bağlı olarak %70-85 azaltır.

Oksi-fuel ergitergitme, NO_x giderimi için çok etkili bir teknik olabilir ve aşağıda belirtilen istisnalar haricinde, tekniğin pratikte kanıtlanmış olduğu kabul edilebilir.

Genel olarak, oksî-fuel fırınlar, yânlarda bulunan birkaç brülör ve tek bir atık gaz çıkış portu ile reküperatif ergiticilerle aynı temel tasarıma sahiptir. Modern fırınların çoğunun geometrisi, oksî-fuel ateşleme ve NO_x en aza indirme için optimize edilmiştir. Oksijen yanması için tasarlanmış fırınlar, güvenliğe dair hususlar nedeniyle, brülörlere beslenecek oksijenin ön ısıtması için ısı geri kazanım sistemlerini güncel olarak kullanmamaktadır.

Teknik, atmosferdeki azotu alevlerin sıcaklığına erişene kadar ısıtmak gerekmediğinden, fırınlarda yerinde enerji tasarrufu sağlayabilir. Isıtılması gereken yanma havası daha azdır ve bu nedenle fırın atık gazlarıyla daha az enerji kaybedilir. Enerji tasarrufu potansiyeli, büyük ölçüde hangi konvansiyonel fırınla karşılaştırıldığına bağlıdır. Bununla birlikte, toplam enerji tasarrufu, oksî-yakıt yanmasının kullanımıyla ilişkili dolaylı enerji dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Oksî-yakıtlı çalışan bir fırının konvansiyonel bir fırına (yakıt-hava) karşı performansını değerlendirirken, atık gaz ısı geri kazanım sisteminin (reküperatör, rejeneratör vb.) verimliliği ve oksijeni üretmek için gereken enerji hesaba katılmalıdır. Bu karmaşık konu, bölümün ilerleyen kısımlarında ele alınacaktır.

Termal NO_x oluşumu büyük ölçüde azaltılır çünkü fırın içindeki ana azot kaynağı çok daha düşüktür, ancak yanma atmosferinde bir miktar azot hala mevcuttur. Bu, oksijendeki artı azottan (PSA, VSA/VPSA için % 4- 6 - 0.5, kriyojenik için < % 2), yakıttaki azottan (% 2 – 15 azot içeren doğal gaz), nitrat parçalanmasından ve herhangi bir hava kaçağından kaynaklanan azottan gelir. Yüksek alev sıcaklıkları nedeniyle mevcut N_2 , daha kolay bir şekilde NO_x haline gelir ve çok düşük N_2 seviyeleri dahi oldukça önemli olabilir. Bu nedenle fırına hava girişini en aza indirmek önemlidir.

Fırın atık gaz akış hacmi, hava ateşlemeli fırınlara göre 4 ila 7 kat daha düşüktür; çok yüksek sıcaklıkta olabilir (1200 – 1450 °C) ve genellikle soğutma gerektirir. Yüksek su içeriği ve aşındırıcı türlerin (örn. klorürler ve sülfatlar) derişimi nedeniyle soğutma genellikle hava ile seyreltme yoluyla yapılır. Seyreltmeyi takiben, atık gaz hacimleri, gerekli seyreltme derecesine bağlı olarak genellikle konvansiyonel fırın atık gaz hacimlerinin % 30 - 100'ü civarındadır.

Oksî-fuel ergitme, konvansiyonel hava-gaz ateşlemesinde kullanılanlardan daha farklı brülör tasarımları gerektirir. Tekniğin ortaya çıkmasından bu yana, brülör sistemleri, diğer oksî-yakıt uygulamaları için mevcut tasarımların erken aşamalarındaki değıştirimlerinden, cam yapımı için özel olarak geliştirilen, güncel ve oldukça spesiyalize düşük NO_x oksî-yakıt brülörlerine varmak üzere önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Bu sistemler, konvansiyonel ateşleme için diğer düşük NO_x yüksek verimli brülörlerin bazı özelliklerini barındırabilir. Başlıca tescilli sistemlerin bazı önemli özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

- üniform ısı aktarımı sağlayan uzun, geniş, parlak alev çıkaran brülörler
- yanma sürecini aşamalandırmaya yönelik olarak brülör başına çoklu oksijen enjeksiyonu
- daha geniş kapsama alanına sahip düz alevler
- oksijen bakımından zengin bölgede tepe alev sıcaklıklarını düşürmek için yakıt ve oksijenin karıştırılmasının geciktirilmesi
- suyla soğutma yok
- momentum ve şekillendirme için alev ayarlanabilirliği
- çoklu yakıt ile kullanım.

Yanma için gerekli oksijen, tesise tedarik edilerek veya yerinde üretimle sağlanabilir. Çok küçük uygulamalar haricinde (örn. bazı münferit frit tesisleri), gerekli oksijen miktarı, oksijenin yerinde üretilmesini genellikle daha ekonomik kılar. Bununla birlikte, tesis bir endüstriyel oksijen boru hattına yakın konumdaysa, oksijeni doğrudan boru hattından tedarik etmek genellikle daha uygun maliyetli olur. Tesiste oksijen üretmede kriyojenik olarak veya bir soğurucu sistem yoluyla olmak üzere iki teknik kullanılabilir.

Oksijen tesisi genellikle tedarik edilen oksijeni ücretlendiren tedarikçiye aittir ve tedarikçi tarafından işletilmektedir, ancak bazı işletimciler tamamen kendilerine ait oksijen tesisatlarını tercih edecektir. Tesisteki oksijen sistemlerinde her zaman yedek sıvı oksijen deposu bulunur. Oksijenin kriyojenik olarak üretilmesinde, hava sıkıştırılarak ve bir arıtma ünitesinden geçirilerek toz, su, karbondioksit ve eser miktardaki kirletici uzaklaştırılır. Ardından, arıtılmış hava soğutulur ve ayırmanın gerçekleştiği düşük sıcaklıktaki bir damıtma kolonundan geçirilir. Ayrılan gazlar, gaz halinde oksijen ve azot sağlamak üzere ısı eşanjörlerinde ısıtılabilir ve gerekirse sistemin daha soğuk kısımlarından sıvı oksijen alınabilir.

Soğurma işlemi genellikle Vakum Salımlı Soğurma (VSA) veya Basınç Salımlı Soğurma (VSA/VP SA) olmak üzere iki şekilde yapılır. Bunların her ikisi de kriyojenik olmayan sistemlerdir ve ayırma, ortam sıcaklıklarında gerçekleşir. Basıncı hava, azotun çoğunu emen zeolit ile doldurulmuş iki emici kaptan birinin tabanından girer. Zeolit, azot ile doymuş hale gelene kadar kabın üstünden oksijen çekilir. Ardından hava akımı ikinci kaba yönlendirilirken birinci kaptaki azot havaya verilir. Vakum sisteminde, azot vakumla çıkarılır ve basınç sisteminde basınçla havalandırılır. Vakum sistemi genellikle en yüksek verimi sağlar.

Teknik genellikle kamyonla kriyojenik oksijen tedarik etmekten çok daha ucuzdur, ancak dondurma dizgesine göre sınırlı kapasiteye sahiptir ve genellikle orta düzeyli oksijen talepleri için tercih edilir.

Yalnızca bir veya iki cam fırını bulunduran tesislerin çoğunda bu teknikler (PSA, VSA/VP SA) tercih edilmektedir. Çoklu fırınlar veya O₂ talebinin (örneğin, yüzdürme cam) yüksek olduğu fırınlar için dondurma dizgesi tercih edilebilir. Bu seçim, büyük ölçüde yerel koşullardan etkilenebilecek ekonomik faktörlere bağlıdır. Yüzdürme cam kurulumlarında, dondurma dizgeleri yanma için oksijen ve yüzdürme banyosu odası için azot üretir.

Kısmi oksi-fuel ergitme tekniği, cam yapımında uzun yıllardır kullanılmaktadır. İki farklı teknik test edilmiştir; bunlardan birincisi ısı aktarımını geliştirmek amacıyla konvansiyonel bir hava-yakıtlı fırına ilave O₂ enjeksiyonu verilen oksijen mızrağı, diğeri ise saf bir oksi-yakıt brülörünün eklenmesidir. Teknik esas olarak, sıcaklık geçişlerini artırmak ve sonucunda eriyik içindeki konvektif akımları güçlendirmek üzere, çok sıcak alevlerin eriyik yüzeyinde doğru bir şekilde konumlandırılması ile cam kalitesi ve fırının ergitme gücüne ilişkin problemleri çözmek için kullanılmıştır. Bu sisteme aynı enerjiyi beslerken, aynı zamanda atık gaz akışını da azaltır. Teknik genellikle bozulma belirtileri veya rejeneratör sorunları gösteren fırınların çalışma ömrünü uzatmak için kullanılmıştır. Teknik günümüzde hala bu şekillerde kullanılmaktadır, ancak yüksek sıcaklıklardan dolayı artabilen NO_x emisyonlarından kaynaklanan problemler nedeniyle daha az yaygındır. "Sıfır boşluklu oksijen brülörleri" de, örneğin, harman örtüsünün erimesini iyileştirmek için fırın işletiminin sonuna doğru yüzdürme cam fırınlarında kullanılır.

Elde edilen çevresel faydalar

Azaltılmış baca gazı hacminden dolayı, oksi-yanmalı fırınlar durumunda kirletici derişimlerinin, hava-yakıt fırınları ile ilişkili olanlardan çok daha yüksek değerler gösterebileceği unutulmamalıdır. Baca gazlarının oksijen içeriği, hem yanma için sağlanan oksijenin olası fazlalığını hem de fırına ve atık gaz sistemine giren havayı içerdiğinden, emisyon derişimlerinin %8 oksijene göre düzeltilmesi, oksi-yanan fırınlar için anlamlı değildir. Bu durumlarda emisyon faktörlerinin (kg/ton cam) kullanılması daha uygundur.

Emisyonların yanlış tahmininden kaçınmak adına, cam frit üretim tesislerinde sıklıkla görüldüğü gibi farklı yanma teknikleri (oksi-yakıt, oksijenle zenginleştirme, hava-yakıt) kullanan farklı fırınlardan gazlar tek bir bacaya gönderildiğinde bile, bu prensip akılda tutulmalıdır.

Oksi ateşlemeli yanmanın temel çevresel faydası, diğeri birincil veya ikincil önlemler tekniklerinin kullanılmadığı, denk gelen hava yakıt ateşlemeli bir fırına kıyasla, genelde % 70'in üzerinde olan önemli düzeyde NO_x emisyonu (emisyon faktörleri cinsinden) azaltım potansiyelidir. Bu rakam, doğal olarak kıyas noktalarına bağlıdır ve %95'in üzerinde veya %60'ın altında olabilir. Özgül enerji tüketimine, doğal gaz tipine, oksijen tipine/kalitesine ve fırın yaşına bağlı olarak yaklaşık 0,5 kg NO_x/ton cam özgül emisyon değerleri rapor edilmektedir. Özel durumlarda, oksi-yakıt ateşleme uygulamasıyla 0,23 kg/ton

cam kadar düşük emisyonlara ulaşılır (bkz. Tablo 4.17) [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007].

Cam frit sektöründe, oksî-yakıt ateşlemeli fırınlarla elde edildiği rapor edilen NO_x azaltım verimliliği, ergitme fırınlarının kendine özgü konfigürasyonu ve işletim koşulları (hafif negatif basınç) nedeniyle parazit havasının fırına girmesine izin verdiği için %20 – 45 aralığındadır (bkz. Tablo 3.51).

Ulaşılabilir seviyeler brülör seçiminin yanı sıra, önemli ölçüde, yakma sistemine verilen ve yüksek oranda azot içerebilen doğal gazın türüne, ve işletme verileriyle ilgili aşağıdaki bölümde belirtilen diğer parametrelere bağlıdır.

Alkali veya borun buharlaşmasını tetikleyen, fırın atmosferindeki yüksek su buharı derişimine rağmen; eriyik üzerinden geçen gaz akışının ve bazı durumlarda türbülansın azalması sayesinde, oksî-fuel ateşleme fırındaki (partiküller, florürler, klorürler vb.) uçucu maddelerin toplam emisyonunun azaltılmasına da yardımcı olabilir.

Tüm uygulamalarda gözlemlenmemiş olmakla birlikte soda-kireç camının partikül emisyonları, başlangıç emisyon seviyelerine göre (hava-yakıt) % 10 – 30 oranında azaltılabilir. Partikül emisyonları en etkili şekilde bor içeren camlarda (%50'ye kadar), özellikle alkali borat camlarda azaltılır. ABD'de, oksî-fuel ergitmeğe geçiş için motivasyon kaynağı bazı durumlarda NO_x gideriminden ziyade partikül giderimi olmuştur. Oksî-yanmanın benimsenmesinin yakıt kullanımında azalma ile sonuçlandığı ve petrol ile ateşlemenin kullanıldığı durumlarda, bu aynı zamanda emisyon faktörleri bakımından daha düşük SO_2 ile sonuçlanacaktır. Bununla birlikte, cam eriyiği ve yanma gazları arasındaki değişime uğramış denge nedeniyle camdaki kükürt tutması azalırsa SO_x emisyonları artabilir. Doğrudan CO_2 emisyonları da herhangi bir enerji tasarrufuyla orantılı olarak azaltılır, ancak oksijeni üretmek için gereken elektrik enerjisine karşılık gelen dolaylı CO_2 emisyonları da elektrik santralinde üretilen diğer kirleticilerin emisyonları ile birlikte dikkate alınmalıdır.

Ortamlar arası etkiler

Oksî-yakıt yanmanın başlıca ortamlar arası etkisi, oksijen üretimi için kullanılan elektrik enerjisinin üretiminde elektrik santralinde açığa çıkan emisyonlardır. Oksijen üretiminin gerektirdiği enerji tüketimi 0,4 – 1 kWh/ Nm^3 olup birincil enerji kaynaklarına göre, ilgili emisyonlar, cam ergitme için oksî-yakıt ateşleme uygulamasıyla elde edilen potansiyel NO_x , CO_2 ve enerji azalmalarını az ya da çok dengeleyecektir.

Enerji kullanımını gerektiren tüm azaltım önlemlerinde olduğu gibi, tesis düzeyinde gözlemlenen çevresel faydaların, dolaylı emisyonlar dikkate alındığında etkilerinin daha az olduğu gözlemlenebilir.

Raporlanan başlıca ortamlar arası etkiler şunlardır:

- Oksijen üretimiyle dolaylı olarak ilişkili NO_x emisyonlarının, doğrudan NO_x emisyonlarındaki azalmanın %10 ila 15'ini temsil ettiği bildirilmektedir;
- örneklerde, enerji tasarrufu yoluyla elde edilen doğrudan emisyon giderimine kıyasla, %35 ila %230 arasında değişen bir CO_2 emisyon artışı bildirilmektedir;
- VSA/VPISA yoluyla oksijen üretiminin gerektirdiği yaklaşık olarak 1,44 MJ/ Nm^3 olan ortalama enerji tüketimi, elektrik santralinde %33'lük bir elektriksel dönüşüm verimliliği hesaba katıldığında, fırının yanma enerjisinin yaklaşık %24'üne tekabül eder (oksî-fuel fırına sağlanan 1 MJ yanma enerjisi 1,24 MJ birincil enerjiye eşdeğerdir).
- SO_x , toz ve diğer atmosferik emisyonlar elektrik üretimi ile ilişkilidir.

Genel olarak, oksî-fuel ergitergitmeden elde edilen enerji tasarruflarının, oksijen üretiminin maliyetlerini aştığı durumlarda, emisyon gideriminin oksijen üretimiyle ilişkili emisyonlardan önemli ölçüde daha fazla olacağı söylenebilir. İlave enerji geri kazanımı tedbirleri (atık ısı kazanı veya kırıntı ön ısıtma) olmayan reküperatif fırınlar için, oksijen üretimi için enerji tüketimi dâhil olmak üzere ortalama enerji tasarrufu yaklaşık %25 - 35 olacaktır. Büyük rejeneratif fırınlar için bu değer %0 – 15 aralığındadır. Yüksek verimli rejeneratif fırınlar için bu rakam sıfırın altında olabilir.

Cam fırınlarına uygulanan oksî-fuel yanmanın ortamlar arası etkilerinin değerlendirilmesine ilişkin bazı örnekler aşağıda sunulmuştur (rapor edilen veriler 8.1'de belirtilen metodoloji temelinde hesaplanmıştır).

- 225 ton/gün kapasiteli bir cam ambalaj fırını için doğrudan NO_x emisyon giderimi yılda 80 ton, oksijen üretimiyle ilişkili NO_x emisyon hacmi ise yılda 11 tondur. Yani, elde edilen net azaltma yılda 69 tona eşdeğerdir. Fırından CO₂ salınımına gelince elde edilen azaltım yılda 1942 ton, ancak oksijen üretiminin sebep olduğu dolaylı CO₂ emisyonları yılda 4444 tondur. Ayrıca, bir santralden salınan ortalama SO₂ emisyon değeri yılda 30 tondur.
- Bir kesintisiz cam elyaf ergitergitme fırını için, doğrudan NO_x emisyon giderimi yılda 80 tondur, ancak NO_x emisyonlarının dolaylı artışı (elektrik santrali) yılda neredeyse 9 tondur. Fırından kaynaklanan CO₂ emisyonlarının giderimi yılda 5390 ton iken, dolaylı CO₂ emisyonları artışı yılda 3530 tondur.

Farklı cam fırınları ve farklı kirlilik azaltma kontrol teknikleri için tahmin edilen özgül dolaylı emisyonların karşılaştırması 8.1.7'de Tablo 8.8'de sunulmuştur.

ErgitErgitme fırınının refrakter üstyapısının hızlı bir şekilde bozulması durumunda, katı atık oluşumu (ikame edilecek refrakter malzemeler), oksî-yakıt yanmasının ek bir ortamlar arası etkisini temsil edecektir.

İşletim verileri

Cam ambalaj sektöründe, son sürüm oksî-yakıt brülörlerin optimize edilmiş fırın tasarımı ve işletimiyle birlikte kullanılmasının ton cam başına 0,3 – 0,8 kg aralığında NO_x emisyonlarına (genelde 200 – 500 mg NO_x/Nm³e eşdeğer) sebep olduğu bildirilmektedir.

Cam frit sektöründe, oksî-yakıt ergitergitme uygulamasıyla bağlantılı olarak elde edilen NO_x emisyon azaltımları çok daha düşüktür. Konvansiyonel veya oksijenle zenginleştirilmiş hava-yakıt fırınları kullanıldığında tipik olarak elde edilen ton cam başına 13 kg veya daha yüksek seviyelere karşılık olarak, bildirilen veriler ton erimiş cam başına 7 – 11 kg NO_x emisyon seviyelerine işaret etmektedir. Bu değerler, harman formülasyonu önemli düzeyde nitrat içerebilen ve fırınlarda istenen işletim koşullarının parazitik havanın yanma odasına girmesine izin verdiği üretimleri ifade eder (bkz. 3.10.2.2).

NO_x emisyonları, aşağıdaki faktörlere ciddi ölçüde bağlıdır:

- oksijen üretim süreci; PSA veya VSA/VPSSA sistemleri tarafından üretilen oksijen az miktarda da olsa azot içerir;
- doğal gaz kalitesi; AB'de, doğal gaz genellikle %10'dan fazla azot içeriğiyle tedarik edilir;
- uygulanan brülörlerin tipi; kademeli yanmalı brülörler genellikle daha düşük NO_x değerlerine yol açar (cam ambalaj sektöründe <0,5 kg/ton erimiş cam);
- fırının enerji tüketimi; bu, birim cam eriyiği kütlesi başına baca gazlarının hacimsel akışını belirler ve diğer faktörlerin yanı sıra gerekli cam kalitesine, fırın boyutuna ve harmandaki kırık oranına bağlıdır;
- yakıt kalitesi; bazı yakıt türleri düşük miktarlarda organik bağlı azot içerebilir.

Bu teknikle ilgili en önemli hususlardan biri de elde edilebilecek potansiyel enerji tasarruflarıdır. Yukarıda bahsedildiği gibi, bu sıklıkla belirli bir uygulamada tekniğin ekonomik uygunluğu konusunda belirleyici faktör olabilir. Tekniğin maliyet etkinliği göz önünde bulundurulduğunda, yalnızca yerini aldığı fırınla değil, aynı zamanda oksijen üretimi için gerekli enerjiyi hesaba katarak, uygulanabilir seçenekler ve alternatif azaltma tedbirlerinin tümüyle karşılaştırılmalıdır.

Küçük, termal olarak verimsiz fırınlar oksî-yakıt ateşlemesine dönüştürüldüğünde yerinde enerji tasarrufu %50'den fazla olabilir. Özel enerji tasarrufu tedbirleri olmayan, standart yalıtımlı ve sadece tesis içi kırık kullanan orta ölçekli bir reküperatif fırın için, oksî-fuel ergitergitme ile enerji kullanımı % 20 – 50 oranında azaltılacaktır. Bununla birlikte, optimize edilmiş termal performansla sahip büyük, enerji verimli rejeneratif fırınlar için, tasarruflar sifıra yakın olabilir veya birincil enerji hesaba katıldığında %5'e varan bir artışla negatif bile olabilir. Bu durumlarda, yerinde enerji tasarrufunun oksijen maliyetini telafi etme olasılığı daha düşük olacaktır. Her durum benzersizdir ve kendine özgü koşullar çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Genel bir kural olarak, oksî-yakıtla çalışan fırınlar, korozyon ve refrakter üst yapının cam eriyiğinden gelen buharlardan etkilenmesi ile ilgili sorunları önlemek için çok iyi yalıtılmalı ve sızdırmaz hale getirilmelidir. Oksî-yakıt yanması, bozulmanın artmasına neden olabilir, ancak bu, refrakter seçimine ve fırının işletim parametrelerine bağlıdır.

Isının atıklardan geri kazanımı, oksî-fuel ergitergitmenin ekonomik boyutunu iyileştirebilecek olan en önemli faktördür. Atık gazların yüksek sıcaklığı, ısı geri kazanım potansiyelini artırır, ancak bir takım zorlukları da beraberinde getirir. Azaltma ekipmanının işletim sıcaklığına ulaşmaları ve uçucu malzemelerden çıkabilecek herhangi bir partikül maddenin yoğunlaşmasını sağlamak için, atık gazların arıtmadan önce soğutulmaları gerekir.

Pek çok fırından çıkan atık gaz, nitelikleri itibarıyla, yoğunlaşmış partiküllerden kaynaklanan kirlenme ve korozyon problemleri nedeniyle doğrudan ısı eşanjörlerinin kullanımını sınırlar. Oksî-fuel ateşleme ile ilişkili yüksek atık gaz derişimleri bu sorunları artırmaktadır.

Bor içeren camlarda özel bir sorun mevcuttur; aşındırıcı olan ve elektrostatik toz tutucular gibi azaltma ekipmanları ile kanallarda kolayca kirlenmeye neden olan yapışkan katıların oluşumunu önlemek için baca gazlarının hızlı bir şekilde soğutulması gereklidir. Bu nedenlerden dolayı soğutma, böyle durumlarda genellikle hava ile seyreltme yoluyla gerçekleştirilir.

Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı, konvansiyonel fırınlar için mevcut enerji tasarrufu tedbirleri (örn. atık ısı kazanları, yüksek verimli brülörler ve cam kırıklarının ön ısıtması) oksî-fuel fırınlar için bu kadar yaygın olarak uygulanmamaktadır. Bu tekniklerle ilgili bazı deneyimler mevcuttur ve belgenin yazıldığı dönemde (2010) atık ısı kazanları ile donatılmış en az iki fırın olduğu, ve pek az oksî-fuel fırında kırık veya harman ön ısıtmasının uygulandığı anlaşılmaktadır. Özellikle oksî-fuel fırınlar için tasarlanmış, çok daha yüksek baca gazı sıcaklıklarında çalışmaya izin veren, harman ve kırık ön ısıtmasına yönelik yeni bir tekniğin yakın gelecekte ABD'de test edilmesi beklenmektedir. Fransa'da, oksî-fuel bir yüzdürme cam fırınında ön ısıtma gazı ve oksijen kaynakları üzerinde bazı geliştirme çalışmaları (2008) yapılmıştır. Ayrıntılar Bölüm 6, Yeni Ortaya Çıkan Teknikler, 6.2'de verilmektedir.

Bununla birlikte, artan deneyimle, bu tedbirlerin de daha büyük bir kısmı oksî-fuel ateşleme ile bağlantılı olarak kullanılabilecektir. Temelde bu tekniklerin çoğunun oksî-fuel ateşlemeyle kullanılmasının önünde bir engel yoktur; ancak ele alınması gereken ve çözülmesi zaman alacak önemli teknik hususlar vardır (refrakter malzemelerin olası bozulması, cam eriyiğinin renginde değişim, köpürme vb.).

Oksî-fuel ergitergitmede, daha yüksek alev sıcaklıkları söz konusudur; bu da bazı uygulamalarda fırın boyutunun metrekaresi başına daha yüksek ergitergitme hızlarına (% 25'e kadar artış) yol açabilir.

Bu durum, özellikle bir fırının kapasitesinin artırılması istendiğinde ancak arzu edilen boyutta bir konvansiyonel fırın için yeterli alan bulunmadığında önemlidir. Ön ısıtma sisteminin olmaması da bu durumda olumlu bir faktördür. Bazı uygulamalarda teknik, daha iyi bir proses kontrolü ve iyileştirilmiş cam kalitesi de sağlayabilir. Bu, özellikle yüksek ergitme sıcaklıkları gerektiren bazı özel cam prosesleri için geçerlidir. Diğer yandan, daha yüksek oksijen ve su buharı miktarları, bazı cam türlerinde cam kimyasını etkileyebilir ve harman bileşiminde değişiklik yapılmasını gerektirebilir.

Halen artan refrakter aşınması ve bunun getirdiği daha kısa fırın ömrü konusunda endişeler mevcuttur. Bazı durumlarda, camdaki kusur seviyesinin daha yüksek olmasına da yol açabilir (örn. tavan damlaması nedeniyle). Soda-kireç camında suyun yüksek buhar basıncı, özellikle cam seviyesinin üzerinde refrakter aşınmasına katkıda bulunabilen, yüksek NaOH buhar basınçlarına neden olabilir.

Refrakter tedarikçileri, pahalı, ergitirmeli dökülmüş AZS veya alümina malzemelerine alternatif olarak iyileştirilmiş silika ve $MgO-Al_2O_3$ spinel malzemeleri gibi yeni malzemeler geliştirmektedir. Bununla birlikte, hala bir dereceye kadar oksijen-yakıt tekniği ile ilişkili finansal risk bulunmaktadır. Daha yüksek kaliteli refrakter malzemelerin kullanımı fırının sermaye maliyetini artırabilir ve tüm uygulamalar için yeterli direnç sağlamayabileceklerine dair endişeler sürmektedir.

Kısaltılmış işletim süreleri, özellikle yüzdürme cam gibi daha büyük fırınlar için, tesis üzerinde çok ciddi bir finansal etkiye sahip olabilir. Şimdiye kadar (2010) uygulamaların bazılarında kötü, bazılarında ise son derece oldukça iyi deneyimler elde edilmiştir. Bu alanda oldukça fazla çalışma yapılmıştır ve sorunun büyük ölçüde azaltılması mümkündür. Bazı borosilikat üreticileri, fırın ömürlerinin uzadığını bildirmiştir ve bazı uygulamalarda, dönüşümün ardından daha düşük tavan sıcaklıkları gözlemlenmiştir. Silika kemer kullanıldığında sodyum silikat oluşumunu ve damlamasını önlemek için tavan sıcaklığının her zaman yeterince yüksek bir sıcaklıkta (1460 – 1470 °C'nin üzerinde) tutulması gerektiği kanıtlanmıştır.

Yeni yüksek yayınlı brülör sistemleri, ısının cama aktarılmasında çok daha etkilidir. Titiz fırın tasarımı, dikkatlice konumlandırma ve daha kaliteli refrakterler ile birlikte uygulandıklarında, bu brülör sistemleri refrakterlerin termal direnç sınırları dahilinde çalışmanın sürdürülmesini kolaylaştırır.

Silika kemerli bir soda-kireç cam ambalaj fırını, bu koşullar altında 2009 yılında 14 seneden beri işletilmekteydi (O-I Europe, Leerdam, Hollanda 1994'ten beri işletimdedir).

Oksijen-yakıt tekniği sürekli olarak geliştirilmektedir ve en son teknikler kullanılarak tasarlanan fırınların, önceki fırınlara göre işletim sürelerinin daha uzun olması muhtemeldir. Bazı uygulamalarda köpürme ile ilgili sorunlar rapor edilmiştir. Bu, kalitede sorunlara neden olabilir, ısıtmanın verimliliğini ve kararlılığını azaltabilir.

Fırın atmosferinde oksijen-yakıt tarafından oluşturulan yüksek su buharı derişimi, afinasyonu potansiyel olarak iyileştirmek (daha az tohum) üzere eriyikten gaz salınımını destekler, ancak köpürme de oldukça artar. Fırın atmosferinin köpük stabilitesi üzerindeki etkisi hala tam olarak anlaşılmamıştır ve daha çok araştırılması gereken bir konudur.

Cam yünü üretiminde fırındaki yüksek oksijen seviyeleri, nitrat kullanılmadan organik madde içeren atıkların geri dönüştürülmesini kolaylaştırabilir.

Oksijenle çalışan fırınlar kanıtlanmış teknoloji olarak kabul edilse de, fırın geometrisinin optimizasyonu, tavan yüksekliği, brülör konumu ve eriyik üzerindeki yüksekliği, çıkış portlarının konumlandırılması gibi hususlarda enerji verimliliğini iyileştirebilecek ve buna bağlı olarak CO₂ emisyonlarını ve enerji maliyetlerini azaltabilecek iyileştirme fırsatları mevcuttur. Çok sıcak baca gazları dışındaki düşük hacimli akışlardan ısı geri kazanmanın diğer yolları, harman veya doğal gaz ön ısıtmasıyla birlikte, geri kazanılan enerjinin kullanımı için geliştirilebilecek seçeneklerdir. Baca gazındaki CO₂ derişiminin yüksek olması, yakalanmasını kolaylaştırma potansiyeline sahiptir.

Oksijen-ergitme kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.16'da gösterilmektedir.

Tablo 4.16: Oksi-fuel ergitergitmenin temel avantajları ve dezavantajları

Avantajlar:
- Düşük NO_x emisyon değerleri elde edilebilir (tipik olarak soda-kireç kap camı için <0,5 – 0,8 kg/ton erimiş cam, rapor edilen asgari değer 0,23 kg/ton) - Fırınlr için gerekli sermaye maliyetleri genellikle önemli ölçüde düşüktür - Bazı uygulamalarda teknik, maliyet açısından nötrdür veya tasarruf sağlar - Bazı uygulamalarda (özellikle bir reküperatif fırının değiştirildiği durumlarda) enerji tüketiminde önemli azaltımlar mümkündür - Azalan atık gaz hacimleri ve kütle akışıyla ifade edilen uçucu madde ve tozların emisyonunda olası azalma. Bu durum azaltma ekipmanı için gerekli sermaye maliyetlerinden tasarruf sağlayabilir - Potansiyel olarak iyileştirilmiş üretim/m² oranı ve proses kontrolü - Bazı durumlarda cam kalitesinde iyileşme görülebilir - Baca gazlarındaki yüksek derişim nedeniyle CO₂ tutulmasını kolaylaştırabilir
Dezavantajlar
- Önemli miktarda enerji tasarrufu elde edilemediğinde, teknik, özellikle büyük soda-kireç fırınları için çok pahalı olabilir. Bu, elektriğe kıyasla gaz/petrol arasındaki maliyet farkından kaynaklanır - Maliyet etkinliği uygulamalar arasında büyük değişiklikler gösterir ve uygulamalar birbirinden ayrı olarak değerlendirilmelidir - Fırın kullanım ömrünü kısaltan, henüz tam olarak çözölememiş refrakter aşınması ile ilgili sorunlar mevcuttur - Oksijen üretiminin gerektirdiği elektrik enerjisi fırın tüketiminin yaklaşık % 7'sidir, ancak birincil enerji hesaba katıldığında % 20'ye çıkar - Elektrik üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonlar (CO₂, NO_x, SO_x) potansiyel çevresel faydaları sıfırlayabilir - Teknik, NO_x oluşumunu azalttığı için esasen birincil tedbirdir, ancak termal olmayan kaynaklardan, örneğin harmandaki nitratlardan kaynaklanan NO_x giderimi konusunda bir etkisi yoktur. - En etkili uygulama için fırın yenilenmesi sırasında kurulmalıdır - Oksijenin depolanması, üretimi ve kullanımının kendine özgü riskleri vardır ve uygun güvenlik önlemleri alınmalıdır - Oksijen üretimi, kontrol gerektiren gürültü yaratabilir - Camdaki kükürt tutması azalabileceğinden ekstra SO_x emisyonları ortaya çıkabilir, ancak bunu telafi etmek için harman bileşimindeki sülfat miktarında ayarlamalar yapılabilir - ErgitErgitme fırınında köpürme olayı meydana gelebilir - Yüksek cam kalitesi gerekli olduğunda, fırındaki refrakter malzemelerin bozulma potansiyeli nedeniyle bu tekniğin kullanımı kısıtlanabilir

Örnek olarak cam ambalaj ve özel cam üreten tesisler için oksiyakıt ergitergitme kullanımı ile elde edilen emisyon seviyelerine ilişkin veriler Tablo 4.17'de sunulmaktadır.

Tablo 4.17: Örnek tesislerde oksî-yakıt ergitme kullanımıyla ilişkili NO_x emisyon seviyeleri

	Cam ambalaj ⁽¹⁾	Özel cam	Özel cam	Özel cam ⁽²⁾
Yakıt	Doğalgaz	Doğalgaz	Doğalgaz	Doğalgaz
Toplam ergitme kapasitesi	300 + 350 ton/gün	50 ton/gün	50 ton/gün	40 ton/gün
Gerçek ergitme hızı	222 + 280 ton/gün	40 ton/gün	50 ton/gün	40 ton/gün
Elektrikle destekleme	Hayır	Evet	Evet	Evet
Cam türü	Kahverengi, yeşil	Borosilikat	Borosilikat, kaplar	Cam seramikler
Kırık	% 66 (ortalama değer)	% 60	% 40	% 50
Özgöl enerji tüketimi ⁽³⁾	4,20 GJ/t cam (ortalama değer)	6,72 GJ/t cam	10,37 GJ/t cam	12,31 GJ/t cam
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)	0,23 kg NO _x /t cam	1,42 kg NO _x /t cam	6,67 kg NO _x /t cam ⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾	5,59 kg NO _x /t cam ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Tesis iki fırından oluşmaktadır.

⁽²⁾ Kurulum, torbalı filtreden önce bir ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır.

⁽³⁾ Belirtilen değerler, kullanım noktasındaki enerjiye atıfta bulunur ve birincil enerjiye göre düzeltilmemiştir.

⁽⁴⁾ Değer, sağlanan bilgilere (kütle akışı, baca gazı hacmi, erimiş cam, ölçülen emisyon derişimi) dayalı olarak hesaplanmıştır.

⁽⁵⁾ Harman formülasyonu nitratlar içerir.

Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]

Uygulanabilirlik

% 100 oksî-fuel ergitme tesisinin bir ilke olarak benimsendiği ve cam sanayinin bütününe uygulanabilir olduğu düşünülebilir, ancak uygulamanın teşkil ettiği sorunlar göz ardı edilmemelidir.

Teknik, özellikle kesintisiz cam elyafı ve özel cam sektörlerinde uygulanmaktadır; cam sanayinin bütününde kullanımı ise bir dizi faktör tarafından sınırlandırılmıştır. Tekniğin, 500 ton/gün üzerinde kapasiteli daha büyük fırınlar için halen yüksek finansal risk potansiyeli teşkil ettiği kabul edilmektedir. Fırının üstyapısı için optimum refrakter seçimi, köpük oluşumunun önlenmesi ve stabilizasyonu, ve baca gazlarından ısı geri kazanımı gibi birkaç konu halen daha fazla araştırma gerektirmektedir.

Oksijenle ateşlenen birçok fırında hala tamamen çözülmemiş köpürme sorunları vardır. [109, Schep, Oksî-yakıtın on yılı 2003]

Genel olarak, potansiyel faydaları en üst düzeye çıkarmak ve herhangi olası işletim sorunlarından kaçınmak için kurulumu bir sonraki fırın yenilemesine kadar ertelemek faydalıdır. Prensip, oksî-gazlı brülörler arkadan yanmalı fırınlar hariç pek çok proseste, soğuk onarım beklenmeksizin kurulabilir. Sıcak kurulum enerji tasarrufu ve ergitme hızı artışı sağlayabilir. Diğer yandan, NO_x emisyonlarını azaltma olasılığı düşüktür hatta artırabilir, ayrıca refrakter aşınmasını hızlandırma tehlikesi de vardır.

1998'de dünya cam üretiminin %5-10'unun oksî-yakıt ergitme ile yapıldığı tahmin edilmekteydi. Fransız oksijen üreticisi Air Liquide tarafından yapılan tahminler, oksî-yakıtla yapılan toplam cam üretiminin %25'inin Avrupa'da, %56'sının Kuzey Amerika'da gerçekleştiğini göstermektedir. O zamandan beri bu rakamlar sektörler arasında farklı eğilimler doğrultusunda değişmektedir.

Dünya çapında en az 200 oksijenle çalışan endüstriyel cam fırını bulunmaktadır. Özellikle kesintisiz cam elyaf sektöründe ve özel cam sektöründe oksî-yakıt ateşleme yaygın olarak uygulanmaktadır. Dünyada beş adet (üç ABD'de, bir Japonya'da ve bir Avrupa'da) oksî-ateşlemeli yüzdürme cam fırını ve çoğunlukla ABD'de yer alan yaklaşık 40 ila 50 adet oksî-ateşlemeli cam ambalaj fırını bulunmaktadır.

Mineral yün, özel cam ve frit sektörlerinde de işletilen bir takım başarılı oksî-fuel ergitici örnekleri vardır.

Oksî-fuel yanma uygulamasında, yüksek kalite gereksinimleri bakımından olumsuz etki yaratabilecek şiddetli köpürmeden dolayı cam ev eşyası üretimi sektöründe daha çok sorunla karşılaşmıştır. Ancak, bazı tesisler oksî-ateşlemeli fırınlarla başarılı bir şekilde çalışmaktadır. Düz cam ve cam ambalaj sektörü ile ilgili olarak, oksî-fuel yanma uygulamasının önündeki ana engel, oksijen ve fırın için gereken özel refrakter malzemenin yüksek maliyetleridir.

Belgenin yazıldığı tarihte (2010), Avrupa'da düz cam sektöründe (dökme cam) faaliyet gösteren bir oksî-ateşlemeli fırın vardı, teknik ayrıca Fransa'da bir yüzdürme cam fırınında uygulamaya alındı. Sektörün toplam Avrupa üretiminin (Almanya, Hollanda, Fransa ve İtalya'da) %3,2'sini temsil eden cam ambalajı üretimi için sekiz fırın faaliyet göstermektedir. Kesintisiz cam elyaf üretiminde, Avrupa'da faaliyet gösteren ergitergitme fırınlarının %50'den fazlası oksî-ateşlemeli olup, bazıları elektrikli desteklemelidir. Cam frit üretiminde fırınların %15'inde oksî-fuel ergitergitme uygulanmaktadır. Avrupa'da mineral yün, cam ev eşyası ve özel cam sektörlerinde (özellikle borosilikat cam tüpler) faaliyet gösteren fırınların önemli bir kısmı oksî-ateşlemelidir.

Oksî-fuel yanmanın kullanılması, oksijen üretimiyle ilişkili çevresel etki gibi dikkate alınması gereken potansiyel ortamlar arası etkileri beraberinde getirir [99, ITC-C080186 2008].

Ekonomi

Oksî-fuel ergitergitmenin mali yönleri, farklı sektörler ve durumlar arasında büyük farklılıklar gösterebilir. Maliyetleri tahmin etmek oldukça zordur, ancak NO_x azaltma tekniği maliyetlerinin bir karşılaştırmasının sunulduğu 8.1.7'de bazı gösterge niteliğinde rakamlar verilmiştir. Maliyetleri etkileyen başlıca faktörler şunlardır:

- en olası alternatife kıyasla sermaye maliyeti (daha dayanıklı refrakter malzemeler (fırın tavanı ve baca gazı kanalları) için ekstra maliyetler dahil)
- elde edilebilecek enerji tasarrufu (büyük ölçüde fırın boyutuna ve tasarımına bağlıdır)
- tesis için geçerli oksijen maliyeti.
- işletim süresi ve beraberinde getirdiği finansal risk üzerindeki potansiyel etki

Oksî-fuel ergitergitmenin göreceli faydaları durumdan duruma büyük ölçüde değişir ve tekniğin uygulanmasına dair kararı önemli ölçüde etkileyen diğer faktörler olabilir; örneğin fırın boyutunu artırmadan ergitergitme hızını artırma gerekliliği, veya tesisin konumunun ucuz oksijen kaynağına yakın olması. Ekonomik boyut tesise özgü faktörlerden son derece etkilenir, dolayısıyla her bir durumun kendi özel koşullarına göre değerlendirilmesi gerekir.

Sermaye maliyeti konusunda önemli bir faktör, oksî-fuel fırınların konvansiyonel bir yanma havası ön ısıtma sistemine sahip olmaması ve bu nedenle sermaye maliyetinin genellikle benzer ergitergitme hızına sahip rejeneratif veya reküperatif bir fırından daha düşük olmasıdır. Bu, özellikle ön ısıtma sisteminin toplam maliyetinden tasarruf edilen yeni tesislerde önemlidir. En gelişmiş oksî-fuel brülörler genellikle gelişmiş düşük NO_x brülörlerinden daha pahalıdır ve oksijen kontrol sistemi maliyetleri oldukça yüksektir. Bununla birlikte, çoğu fırın için, oksî-fuel brülörlerin ve kontrol sisteminin ekstra maliyetleri, ön ısıtma sisteminin sağlayacağı tasarruftan önemli ölçüde daha düşüktür.

Tekniğin refrakter ömrü üzerindeki etkisine ilişkin endişeler, fırın tavanı için daha pahalı malzemelerin kullanılmasına yol açar. Gerekli olduğu takdirde, bu ekstra maliyet sermaye avantajını önemli ölçüde azaltabilir. Aslında, başlangıçta (1990 – 1995), oksî-yakıtla ateşlenen cam fırınların ömrünün, konvansiyonel yakıt-hava ateşlemeli fırınlardan daha kısa olması bekleniyordu. Ancak Avrupa cam ambalaj sektöründe aynı kullanım ömrüne sahip en az birkaç oksijen ateşlemeli fırın bulunmaktadır. Fırının tasarımı, malzemelerin kalitesi (özellikle tavan) ve üstyapının çok sıkı sızdırmazlığı fırının ömrünü belirleyen önemli faktörlerdir.

Tekniğin ekonomik rekabet gücü, temelde enerji tasarrufu potansiyeline ve benzer NO_x emisyon

seviyelerine ulaşmak için uygulanabilecek alternatif tekniklerin maliyetlerine bağlıdır.

Küçük ve orta ölçekli fırınlar gerektiren birçok uygulamada, tekniğin daha rekabetçi olmasını sağlayan önemli miktarlarda enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir. Nitekim bazı uygulamalarda (özellikle günde 50 tonun altındaki fırınlarda) enerji tasarrufu tekniğin kurulumu için tek başına yeterli bir gerekçe olabilir. Daha büyük konvansiyonel fırınlar, doğal olarak daha enerji verimli olma eğilimindedir ve oksijenle atışmaya geçildiğinde elde edilen toplam enerji tüketimi (oksijen üretimi için gereken enerji dahil) azaltma potansiyeli çok daha azdır, bu da tekniğin net maliyetini (büyük oranda oksijen masrafları) artırır. Öte yandan, daha büyük fırınlar, normalde daha iyi m³ başına fiyatla ilişkilendirilen yüksek miktarda oksijen gerektirir.

Karşılaştırmalı maliyetler, oksijenle atışlı fırınlar için yüksek randımanlı silika kemerler (300000 – 400000 Avro ekstra maliyet) ve ergitergitmeli dökülmüş malzemelerden (AZS veya alümina) yapılmış tavanlar dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bu ergitergitmeli dökülmüş malzemeler, bir yüzdürme cam fırınının tavan maliyetini 4 – 5 milyon Euro kadar artırabilir.

Rejeneratörlerin devreden çıkarılmasıyla sermaye tasarrufu yalnızca en yaygın cam sektörlerinde (ambalaj, kesintisiz cam elyaf, özel cam vb.) değil, aynı zamanda reküperatif ısı eşanjörleriyle hava ön ısıtmanın genel olarak kabul edilmiş ve fırınların çoğuna uygulandığı frit endüstrisinde de geçerli olan durumdur.

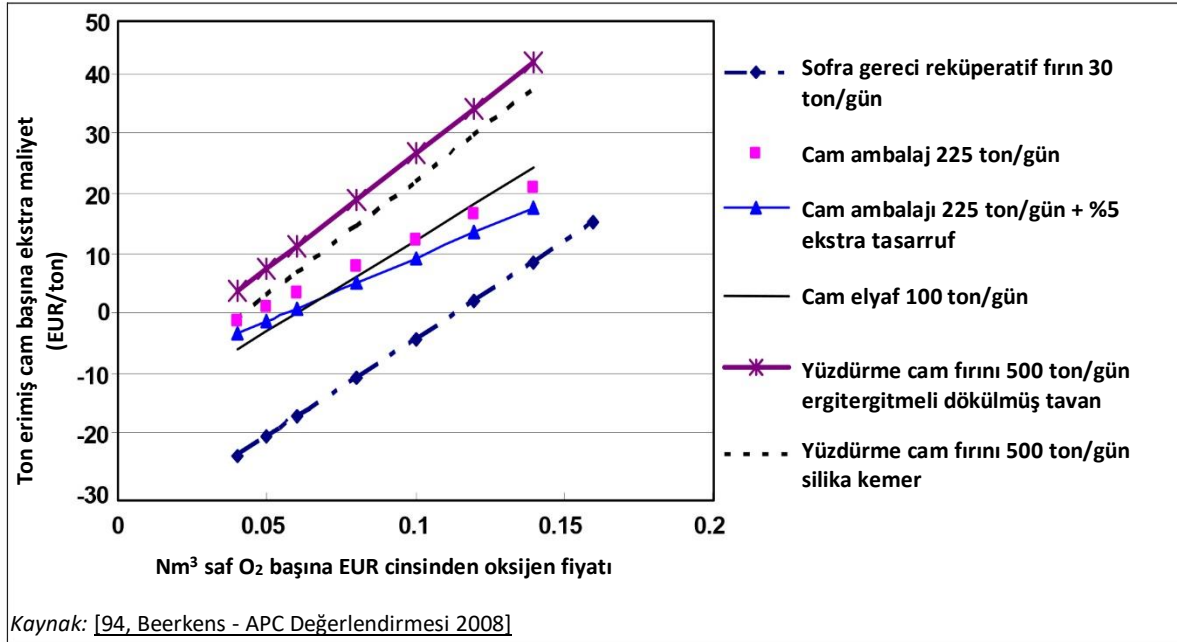
Rejeneratif fırınların rejeneratör sistemleri, söz konusu konumda kurulan ilk fırına kadar uzanabilir ve her fırın yenilenmesinde gerektiği şekilde onarılır, modernize edilir veya değiştirilir. Bu nedenle, önemli bir tasarruf sağlanmasına rağmen, yeni bir tesis için olan kadar fazla olmayabilir. Reküperatif fırınlarda, reküperatör genellikle her bir fırın yenilenmesi sırasında değiştirilir, ancak fırın tasarımı ve konumu genel olarak aynı bırakılıyorsa destekleyici çerçeve yeniden kullanılabilir. Yeni tesisler için sermaye tasarrufları, farklı tesisler arasında önemli ölçüde farklılık gösterebilir. Genel olarak sermaye tasarrufunun, reküperatif fırınlar için %20, rejeneratif fırınlar için %30 – 40 civarında olduğu bildirilmiştir.

Oksijen tesisi tedarikçi tarafından işletiliyorsa, sermaye maliyeti genellikle oksijen yüküne dâhil edilir ve ayrı olarak değerlendirilmez.

Oksijen tesisinin muhafazası genellikle cam firması tarafından sağlanır ancak maliyeti oldukça düşüktür. Cam şirketi oksijen tesisini bağımsız olarak işletmeyi seçerse, sermaye maliyeti fırın maliyetinin %10'una kadar çıkabilir. Oksijen üretiminden elde edilen azot yan ürünü kullanılabilir veya satılabilir ise, genel maliyetlerin azaltılmasına katkıda bulunabilir.

Cam sanayii literatüründeki çeşitli dökümanlar, oksijen-fuel atışlemenin maliyetlerinin SCR'ye eşit veya daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, bir takım operatörler maliyet açısından nötr geçişler ve hatta bazı durumlarda işletme maliyetlerinde tasarruf sağlandığını bildirdiklerinden, bu durum pratiğe her zaman yansımamıştır. Olumlu sonuçların çoğu, özgül enerji tüketimi nispeten yüksek ve rejeneratif olmayan küçük fırınlardan geçişte elde edilmiştir. Refrakter ömrü ile ilgili endişeler hariç tutulduğunda, çoğu uygulamada oksijen-fuel atışlemenin maliyet etkinliğini belirleyen faktör, ortamlar arası etkileri de hesaba katarak alternatif NO_x azaltma tekniklerine kıyasla oksijen maliyetleri ile enerji tasarrufu arasındaki fark olacaktır. Bunun durum bazında değerlendirilmesi gerekir ve küçük fırınlar için denge çoğu zaman olumlu yönde olsa da, daha büyük fırınlar için tasarruflar genellikle daha düşüktür, finansal denge özel koşullara çok daha bağlı olacak ve diğer faktörler (özellikle yıllık bazda sermaye maliyeti) daha önemli hale gelecektir. Mevcut enerji ve özellikle oksijen maliyetleri de (her ikisi de değişebilir) doğal olarak oldukça önemlidir.

Aşağıdaki Şekil 4.7'de, oksijen gazıyla çalışan fırınları ile konvansiyonel cam fırınları arasında özgül ergitme maliyetlerinin toplam farkı gösterilmektedir. Yüzdürme cam ve cam ambalaj için rejeneratif fırınlar ve sofra gereçlerine yönelik küçük reküperatif fırınlarla ilgili tahmini veriler rapor edilmiştir (karşılaştırmalı çalışma için kullanılan metodoloji ve varsayılan maliyetler için bkz. 8.1).



Şekil 4.7: Farklı cam üretim tesislerine (konteyner, şamandıra, kesintisiz cam elyafı ve sofra takımı) konvansiyonel fırınlardan oksijenle ateşlemeye geçişten sonra özgül ergitme maliyetlerinde gözlemlenen fark

Almanya'da, 2007 itibarıyla, cari ortalama oksijen maliyetleri, üretim hacmi ve kullanılan sistemin tipine bağlı olarak (kriyojenik, PSA, VSA/VPsA) m³ başına 0,04 ile 0,07 Avro aralığında, tedarik noktasındaki son fiyat ise m³ başına 0,046 ile 0,11 Avro aralığında verilmektedir. Oksijen üretimi için gereken elektrik 0,4 ile 1 kW/m³ arasındadır ve tipik maliyet kW başına 0,05 – 0,065 Avro aralığındadır. [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]. Oksijen fiyatı, tesisatta kullanılan oksijen miktarına bağlı olarak iki kat veya daha fazla artabilecek kadar değişim gösterebilir.

Oksi-yakıt ergitme uygulamasıyla ilgili özgül maliyetler, farklı cam türleri ve fırın kapasiteleri için tahmin edilmiştir. Hesaplama için varsayılan ulaşılabilir emisyon seviyeleri aşağıdaki gibidir:

- yüzdürme cam: Ton erimiş cam başına 1,5 – 2 kg NO_x
- cam ambalaj: Ton erimiş cam başına 0,5 – 0,9 kg NO_x
- özel cam (harmanda nitrat yok): Ton erimiş cam başına 1 – 1,5 kg NO_x.

Elde edilen sonuçların bir özeti aşağıda rapor edilmiştir:

Cam ambalaj

Bir arkadan yanmalı fırın oksijenle ateşlemeli fırınla karşılaştırıldığında, farklı kapasitelerdeki (200 ton/gün ve 450 ton/gün) fırınlar için tahmin edilen maliyetler, yatırım maliyetlerinde küçük fırın için 2 milyon Avro, büyük fırın için ise 4,7 milyon Avroluk bir düşüşe işaret etmektedir. Yıllık işletim maliyetleri ise sırasıyla yılda 450000 Avro ve 1,5 milyon Avro artış gösterir (oksijen fiyatı da önemli olup Nm³ başına 0,06 Avro varsayılmaktadır). Ton erimiş cam başına özgül maliyet artışı, küçük fırın için 3 Avro ve daha büyük kapasiteli fırın için 5 – 5,25 Avroya eşdeğerdir. NO_x giderme maliyetinin küçük fırın için kg NO_x başına 3,4 – 4 Avro, daha büyük kapasiteli fırın için kg NO_x başına 5,5 – 6 Avro olduğu tahmin edilmektedir.

Düz cam

Oksi-fuel yanmanın günde 500 ton kapasiteli bir yüzdürme cam fırınına uygulanmasının tahmini maliyeti, silika kemer kullanıldığında yatırım maliyetlerinde 7,5 milyon Avro düşüş göstermekte olup, bu rakam tavanda ergitergitmeli dökülmüş malzeme (AZS veya alumina) kullanıldığında 3,5 milyon Avroya inmektedir. 2003/87/AK sayılı Direktife (Emisyon Ticaret Planı – ETS) uyum sağlamak için gerekli CO₂ tahsisatlarının maliyetleri (gerçi tesise özgü oldukları ve birçok farklı modele tabi oldukları için bu maliyetleri hesaplamak zordur) ve m³ başına 0,06 Avro varsayılan oksijen maliyeti hesaba katılarak, işletme maliyetleri yılda 2,7 milyon Avro yükselecektir. Özgül maliyetler, fırın tavanı için kullanılan malzeme tipine bağlı olarak, ton cam başına 6,8 Avro'dan 11.4 Avro'ya kadar değişecektir. Oksijen fiyatının daha düşük olması, ton erimiş cam başına maliyet artışını önemli ölçüde azaltacaktır. 0,045 EUR/m³ fiyatı için, özgül maliyet artışı ton cam başına 1,1 ve 5,6 Avro aralığında olacaktır. Yüzdürme cam fırını için yapılan tahmin, NO_x giderimi için giderilen kg NO_x başına 3 ile 5 Avro aralığındadır.

Cam ev eşyaları

Sofra gereçlerine gelince, 30 ton/gün kapasiteli bir fırın için tahmin edilen ekstra yatırım maliyeti, bu tip cam için gereken yüksek kaliteli refrakter malzeme nedeniyle 500000 EURO'ya eşdeğerdir. Oksijen fiyatının m³ başına 0,12 Avro altında olması durumunda işletme maliyetlerinde düşüş olması beklenir. 70 ton/gün kapasiteli mevcut bir fırın için, rejeneratif konfigürasyondan oksijen atışemeye geçiş, yatırım maliyetlerinde 2,25 milyon Avro'ya eşdeğer bir azalma ile sonuçlanmıştır. İşletme maliyetleri, m³ başına 0,10 Avro oksijen fiyatına dayalı olarak, ton cam başına 12 – 13 Avro'dan yılda 600000 Avro artmıştır.

Kesintisiz cam elyaf

100 – 120 ton/gün kapasiteli bir fırın için, reküperatif tipte bir fırından oksi-fuel yanmaya dönüşümle ilgili yatırım maliyetlerindeki artışın, oksijen fiyatını m³ başına 0,10 Avro olarak 1,5 milyon Euro olduğu, işletme maliyetlerinde yılda 250000 Avro'ya eşdeğer bir azalma ile birlikte tahmin edilmiştir. Bu durumda, ton erimiş cam başına özgül maliyetler 6 Avro kadar artacak, NO_x giderme maliyeti kg NO_x başına 3 – 3,25 Avro olacaktır.

Cam yünü

Cam yünü için, 125 ton/gün kapasiteli bir ergitergitme fırınına oksi-fuel yanma uygulanması, sermaye/yatırım maliyetleri (amortisman ve faiz giderleri dahil) ve işletme maliyetlerine (enerji, hammadde, CO₂ tahsisatları, atık bertarafı vb. dahil) göre hesaplanan, ton cam başına yaklaşık 100 Avro'luk özgül ergitergitme maliyetleri göstermektedir. Tahminde, tedarik noktasındaki oksijen fiyatı m³ başına 0,1 Euro ve vergiler dâhil elektrik maliyeti kW's başına 0,091 Euro varsayılmaktadır. Bu fırın kapasitesinin üzerinde, yakıt-hava yakma uygulamasının daha düşük bir özgül maliyeti olduğu görülmektedir [115, EURIMA-ENTEC Maliyet değerlendirmesi 2008].

Farklı çalışma koşulları altında farklı cam türleri üreten tesisler için gerçekleşen ve tahmini maliyet verilerinin örnekleri Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18: Cam ambalaj ve özel cam sektörlerine uygulanan oksî-yakıt ergitme işleminin fiili ve tahmini maliyetlerine örnekler.

	Cam ambalaj ⁽¹⁾	Özel cam ⁽²⁾	Özel cam ⁽³⁾
Yakıt	Doğalgaz	Doğalgaz	Doğalgaz
Fırın kapasitesi	300 + 350 ton/gün	50 ton/gün	50 ton/gün
Gerçek ergitme hızı	222 + 280 ton/gün	40 ton/gün	50 ton/gün
Elektrikle destekleme	Hayır	Evet	Evet
Cam türü	Kahverengi/yeşil	Borosilikat	Borosilikat
Kırık	% 66 (ortalama değer)	% 60	% 40
Özgöl enerji tüketimi ⁽⁴⁾	4,20 GJ/t cam (ortalama değer)	6,72 GJ/t cam	10,37 GJ/t cam
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)	0,23 kg NO _x /t cam	1,42 kg NO _x /t cam	6,67 kg NO _x /t cam
İlişkili maliyetler ⁽⁵⁾			
Oksijen üretimi	Yerinde, kriyojenik	Tedarik, kriyojenik	Yerinde, kriyojenik
Elektrik enerjisi maliyeti	0,05 EUR/kWs	0,065 EUR/kWs	0,065 EUR/kWs
Oksijen tedarik maliyeti	0,046 EUR/m ³	0,11 EUR/m ³	0,065 EUR/m ³
Doğalgaz fiyatı	0,0193 EUR/kWs	0,025 EUR/kWs	0,025 EUR/kWs
Oksî-fuel ergitme için özgöl maliyetler	9,97 EUR/ton cam (ortalama değer)		~23 EUR/ton cam
Tüm tesisin amortismanı dâhil toplam yatırım maliyetleri	34,2 EUR/ton cam	93,46 EUR/ton cam	90,73 EUR/ton cam
Faiz oranı	6 %		
Hizmet ömrü	12 yıl		
Karşılaştırılabilir bir konvansiyonel rejeneratif fırın için tahmini yatırım maliyetleri	40,2 EUR/ton cam ⁽⁶⁾	120,13 EUR/ton cam	142,36 EUR/ton cam
Tahmini fark	-% 15	-% 22	-% 36
⁽¹⁾ Kurulum iki fırın ile donatılmıştır. Torbalı filtreden önce ısı geri kazanım sistemi kurulmuştur. Cam kırığı kullanımı ve enerji tüketimi değerleri, iki fırının ortalamasıdır. ⁽²⁾ Maliyetler, tesis yönetimiyle sözlü iletişimden elde edilen verilere dayalı olarak tahmin edilmektedir. ⁽³⁾ Maliyetler, mevcut bilgilere dayanarak tahmin edilmektedir. Elektrikli destekleme kullanımıyla ilgili maliyetler hesaplama dâhil değildir. ⁽⁴⁾ Enerji tüketimi verileri birincil enerji için düzeltilmemiştir. ⁽⁵⁾ Maliyet verileri, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir. ⁽⁶⁾ Maliyetler, tüm tesisin amortismanını içerir. Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]			

Oksî-yakıt ateşlemesinin tahmini maliyetlerinin ve ortamlar arası etkilerinin diğer tekniklerle karşılaştırılmasıyla ilgili ek bilgiler 8.1.7 kısmında, Tablo 8.5 Tablo 8.7 ve Tablo 8.9'da rapor edilmiştir.

Uygulamanın itici gücü

Oksî-fuel ergitme, NO_x emisyonlarını ve bazı özel durumlarda diğer atmosferik emisyonları (partikül) azaltmak için uygulanan birincil tekniktir. Cam sanayiinin bazı sektörlerinde (özel cam, kesintisiz cam elyaf, mineral yün) oksî-fuel ergitme uygulaması, ergitme işlemi için iyi bir teknik ve ekonomik seçenek olarak kabul edilir. Enerji tüketiminin azaltılması, bu sektörlerdeki fırınlarda oksî-fuel ergitme uygulaması için itici güç olabilir.

Cam frit sektöründe, oksijen-yakıt yanması ile ilişkili NO_x giderme verimliliği yaklaşık %20 – 45'tir. Bu nedenle, teknik bu sektörde esas olarak ergitme işlemi için iyi bir alternatif olarak kabul edilir. [99, ITC-C080186 2008].

Örnek tesisler

Pilkington-LOF, Toledo, Ohio, ABD - yüzdürme cam
Ardagh Glass, Moerdijk, Hollanda - cam ambalaj
Ardagh Glass, Obernkirchen, Almanya - cam ambalaj
O-I Europe, Leerdam, Hollanda - cam ambalaj
O-I Europe, Schiedam, Hollanda - cam ambalaj
Vetrobalsamo, Sesto San Giovanni, İtalya - cam ambalaj
PPG Industries, Hoogezand, Hollanda - kesintisiz cam elyaf
PPG Fiber Glass, Wigan, Birleşik Krallık - kesintisiz cam elyaf
OCV Reinforcements - Vado Ligure, İtalya - kesintisiz cam elyaf
Gerresheimer Pisa, Pisa, İtalya - borosilikat cam tüpler
Schott Glas, Mainz, Almanya - özel cam
Philips Lighting, Fransa, Polonya, Hollanda - aydınlatma camı
Owens Corning Building Products (BK) Ltd, Cwmbran, Birleşik Krallık - cam yünü
James Kent Ltd, Stoke-on-Trent, Birleşik Krallık - frit
SGD, Mers, Fransa - cam ambalaj, flakon
Orrefors Kosta Boda, İsveç - <5 ton/gün kristal cam
Verrerie de La Rochère, Fransa - 17 ton/gün soda-kireç
Nachtmann, Almanya - 9 ton/gün kurşun kristal.

Referans literatür

[4, EPA 1994] [7, Ind.duVerre 1996] [30, Infomil 1998] [9, IPC Kılavuzu S2 3.03 1996] [33, Beerkens 1999] [18, Ercole 1998] [46, Illy et al. 1998] [19, CPIV 1998] [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [78, DUTCH oksijen-ateşleme fırınları 2007] [79, TNO OxyFiring2005ATIVFinal 2005] [88, FEVE Önerisi Bl.4-NO_x 2007] [91, ITC - C071304 2007] [92, ITC - C071603 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] [79, TNO Oxy-firing 2005, ATIV Final 2005] [98, ANFFECC Frit Sektörünün Konumu 2005] [99, ITC-C080186 2008] [115, EURIMA-ENTEC Maliyet değerlendirmesi 2008].

4.4.2.6 Yakıtlı kimyasal indirgeme (CRF)

Yakıtlı kimyasal indirgeme, atık gaz akımına yakıt eklenerek bir dizi reaksiyonla NO_x öğelerinin N₂ oluşturmak üzere indirgendiği teknikleri kapsar. Yakıt yanmaz, ancak atık gazın bileşenleriyle reaksiyona girerek H₂O ve N₂ oluşturan radikaller oluşturmak üzere pirolize uğrar. Cam sanayiinde kullanılmak üzere geliştirilen iki temel teknik, 3R işlemi ve yeniden yakma işlemidir. Bu tekniklerin her ikisi de şimdilik rejeneratif fırınlarla sınırlıdır. 3R işleminin sanayide uygulaması tamamen geliştirilmiştir, ancak bu yazının yazıldığı tarihte (2010), yeniden yakma işlemi, cam sanayiinde endüstriyel uygulanabilirliğini henüz göstermemiştir.

İşlem, enjekte edilen fosil yakıt ile baca gazlarında bulunan azot oksitler arasında gerçekleşen bir dizi kimyasal reaksiyona dayanmaktadır.

İşlemin ilk aşamasında hidrokarbon radikalleri (CH_x) esas olarak yakıtın (genellikle doğal gazın) enjekte edildiği bölgede termal bozunma ile oluşur.

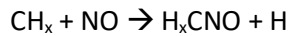
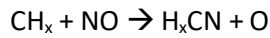
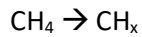
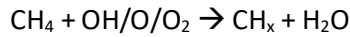
Radikaller, HCN ve NH₃ gibi diğer azot türlerini oluşturmak üzere fırında oluşan NO_x ile reaksiyona girer. Bu türler oluşturulduktan sonra, hızlı bir şekilde, moleküler azot (N₂) oluşturmak üzere diğer temel NO molekülleri ile reaksiyona girerler. Yeniden yanma yakıtının yanma gazlarıyla karışmasına ve reaksiyona girmesine izin verildikten sonra, yakıtın tamamen yanması için tükenme havası enjekte edilir. Tükenme bölgesinde kalan indirgenmiş azot türlerinin tamamı moleküler azota (N₂) veya tekrar azot oksite dönüştürülür.

4.4.2.6.1 3R süreci

Açıklama

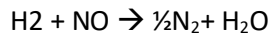
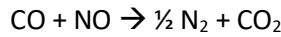
3R işleminin temelinde, rejeneratör girişindeki atık gaz akımına kontrollü bir şekilde hidrokarbonlu yakıtın (örn. doğal gaz veya petrol) eklenmesi yer alır. Bu yakıt yanmaz, ancak ayrışır ve fırında oluşan NO_x öğelerini kimyasal olarak indirgeme görevi görür. Teknoloji, rejeneratif fırınlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır; burada rejeneratör, reaksiyonların ilerleyişi için gerekli sıcaklık, türbülanslı karıştırma ve kalma süresi koşullarını sağlar. Prosesin adı olan "3R", rejeneratörlerde reaksiyon ve redüksiyon (indirgeme) anlamına gelir.

3R prosesi, NO_x giderme (deNO_x) ve tüketme olmak üzere iki temel aşamadan oluşur. NO_x giderme aşamasında iki temel mekanizma vardır, ilki 3R yakıt radikalleri ile NO arasındaki reaksiyonu içerir. Yakıt rejeneratöre girerken çok hızlı bir şekilde radikaller (CH_x) oluşur. Bu aşamada meydana gelen ana reaksiyonlar şunlardır:

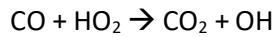
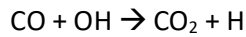
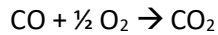


Bu reaksiyonlar çok hızlıdır ve esas olarak rejeneratörün üst haznesinde gerçekleşir. NO_x indirgemenin yaklaşık % 25'ine karşılık gelirler.

İkinci mekanizma, atık gazlar bekleme süresinin nispeten uzun olduğu rejeneratör saclarından geçerken çalışır. CO ve H_2 (birincil ve 3R yakıtlarından oluşur), yeterince yüksek sıcaklıkta, kalan azot oksitinin büyük bölümünü azot moleküllerine indirgemek için yeterli süreye sahiptir. Bu reaksiyon rejeneratör sistemi boyunca, ancak ağırlıklı olarak saclarda gerçekleşir ve 3R ile NO_x indirgemenin büyük kısmı bu şekilde gerçekleşir. Ana reaksiyonlar:



İşlemin ikinci aşaması, başta tepkimeye girmemiş CO ve H_2 olmak üzere indirgenmiş türlerin tüketilmesinden oluşur. Bu türler, rejeneratörün altındaki bace gazlarına kontrollü şekilde hava beslenerek oksitlenir. Ana reaksiyonlar aşağıda verilmiştir.



3R tekniği, NO_x oluşumunu engellemez ve yalnızca termal NO_x değil, hammaddeler gibi diğer kaynaklardan gelen azot oksitleri de (NO_x) azaltır; bu nedenle SCR ve SNCR gibi ikincil bir teknik olarak kabul edilmelidir.

Elde edilen çevresel faydalar

Kuruluma bağlı olarak, rejeneratif yüzdürme cam ve cam ambalaj fırınlarında 3R uygulaması ile elde edilen emisyon seviyeleri 1,0 – 1,5 kg/ton erimiş cam aralığındadır. 3R teknoloji tedarikçisi tarafından bildirilen verilere göre, %70 – 85 arasında genel bir NO_x giderimi ve 500 mg/Nm³ veya daha düşük NO_x emisyon derişim seviyeleri elde edilebilir [65, GEPVP-Proposal for GLS revizyon 2007].

Ortamlar arası etkiler

3R'nin en önemli dezavantajları gerekli NO_x giderimini sağlamak için hidrokarbon yakıtlarının kullanımının doğal olarak maliyetli olması ve CO₂ emisyonlarını artırmasıdır. Bu durum, 3R'nin yakıt ihtiyacını azaltmak için işlemi daha alışıldık birincil NO_x azaltma tedbirleriyle birleştirmenin cazip olacağı anlamına gelmektedir.

Ancak bu durumda, özellikle azaltılan her ton NO_x için toplam maliyetlerin ve ortamlar arası etkilerin hesaba katılması gerekecektir.

Bir atık ısı kazanı kuruluysa ve geri kazanılan enerjiyi tesiste veya yerel olarak kullanmak mümkünse, 3R yakıtındaki enerjinin çoğu geri kazanılabilir. Böyle durumlarda genel CO₂ artışı oldukça az olacaktır; bununla birlikte 3R'nin kullanılması, bir atık ısı kazanının kesinlikle maliyet etkin bir yol olacağı anlamına gelmez, ancak halihazırda kurulu olduğu (veya kurulması amaçlandığı) durumlarda 3R, kazanın kullanılabileceği fırın yük aralığında faydalı bir artışla sonuçlanır. Genel olarak bu, tesisteki enerji gereksinimlerinde önemli bir tasarruf sağlayabilir ve diğer enerji kaynaklarının (örn. fosil yakıtlı kazanlar) kullanımı azaltılabilir. Geri kazanılabilecek enerji miktarının önemli bir sınırlaması, genellikle tesisatta buhar talebinin olmamasıdır. Örnek olarak, cam ambalaj sektöründe, kazanlar genellikle sadece fuel oil kullanan (ısıtma gerektiren) tesislerde bulunacaktır, ancak son yıllarda fuel oil kullanılan birçok tesiste tek noktalı kazanlardan yüzey ısıtmaya geçiş gözlenmektedir.

Tesiste atık ısı geri kazanımı olmadığında, gereken ekstra yakıt genellikle ergitme enerjisinin yaklaşık % 7'si kadar olacaktır. Bu, ergitilen her 25 – 35 kg cam veya azaltılan her 4 – 6 ton NO_x için CO₂ emisyonlarının artmasına neden olur. Tahmini emisyon artışı, artan fan kapasitesi (ek atık gaz hacmi) için ihtiyaç duyulan ek elektrik enerjisinin kullanımıyla ilişkili dolaylı fazladan CO₂ (100 – 150 ton/yıl) ve NO_x emisyonlarını içermez.

Pratikte, istenilen NO_x giderimini elde etmek için tam olarak gerekli yakıt miktarı, fırına özel koşullara bağlı olarak değişebilir.

3R işlemi uygun şekilde uygulanmaz ve çalıştırılmazsa rejeneratörlerde hasar meydana gelebilir. Baca gazlarının azaltılması, rejeneratör için kullanılan refrakter malzeme tipine bağlı olarak yoğunlaşma ve birikme etkilerinden kaynaklanan korozyon artışına yol açabilir.

İşletim verileri

3R ile elde edilen NO_x gideriminin derecesi, esas olarak eklenen ekstra yakıt miktarına bağlıdır ve çeşitli emisyon standartlarını karşılayacak şekilde ayarlanabilir. Hava yakıtlı düz cam fırınlarına yapılan uygulamalar için, elde edilen NO_x derişimleri %8 O₂ kuru hacimde 500 mg/Nm³'ün altında olabilir. Bununla birlikte, özellikle bir tür refrakter malzeme kullanıldığında, uygulama dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

3R tekniğinin ana yönleri aşağıda bildirilmiştir.

- Yakıt enjeksiyonu için sıcaklık penceresi, rejeneratörlere giren sıcak egzoz gazlarında tipik olarak >1300 – 1400 °C'dir.
- Sonunda, enjekte edilen tüm hidrokarbonlar, mevcut oksijen miktarına bağlı olarak CO₂ ve H₂O buharına dönüştürülür.
- Tipik NO_x emisyon azaltımları, genel olarak, başlangıç değerlerinin %70 – 85 aralığındadır, ancak enjekte edilen daha düşük hidrokarbon miktarlarıyla ilgili olarak daha düşük azaltma oranları da rapor edilmektedir.
- 3R işlemi için gereken fazladan yakıt miktarı, ergitme fırınına enerji sağlamak için kullanılan toplam miktarın yaklaşık %7 – 10'u kadardır, ancak tipik değer %8'dir. 500 ton/gün kapasiteli bir yüzdürme cam fırını için, ek yakıt tüketimi tipik olarak saatte 350 ila 375 Nm³ doğal gaz aralığındadır. 300 ton/gün cam kapasiteli ambalaj fırını için kullanılan fazladan yakıt saatte 125 – 150 Nm³ doğal gaz aralığındadır.
- Özgül enerji tüketimi açısından, 3R uygulamasından kaynaklanan artışın yüzdürme cam için yaklaşık 0,5 GJ/ton ve cam ambalaj için 0,36 GJ/ton olduğu tahmin edilmektedir.
- 3R'nin uygulanmasıyla ilgili ek hususlar, rejeneratördeki indirgeyici gazlara (CO, hidrokarbonlar ve duman), indirgeyici özelliklere sahip tuz birikintilerine veya yüksek alkali metal derişimlerine karşı dirençli olmayabilecek refrakter malzemelerle ilgilidir. 3R tekniğinin uygulanması için, rejeneratöre olası zararları ve kullanım ömrünün kısılmasını önlemek üzere bazı tip refrakter malzemelerden kaçınılmalıdır.

3R tekniği kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.19'da sunulmaktadır.

Tablo 4.19: 3R tekniğinin temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u> • Önemli NO_x azaltımları sağlayabilir • Çoğu rejeneratif fırın tipine uygulanabilir (arkadan ateşlemeli fırınlarda mevcut uygulama yoktur) • Tesis tasarımında veya işletiminde önemli bir değişiklik gerekmez • Düşük sermaye maliyetleri • Fırının kapatılmasına gerek kalmadan uygulanabilir • Kimyasal reaktif gerekmez • Artan yakıt kullanımı bazı durumlarda atık ısının geri kazanımı ile telafi edilebilir • Kaynağı ne olursa olsun azot oksiti (NO_x) azaltır <u>Dezavantajlar</u> • Artan yakıt kullanımı (genellikle %7, ancak bazı durumlarda artış atık ısı geri kazanımı ile azaltılabilir) • Artan CO₂ emisyonları (20 – 30 kg/t erimiş cam, ancak bazı durumlarda artış atık ısı geri kazanımı ile azaltılabilir) • CO emisyonu potansiyeli • Bazı uygulamalarda rejeneratör refrakter malzemesi üzerindeki etkisine ilişkin endişeler mevcuttur • Rejeneratif olmayan fırınlarda uygulanamaz

Uygulanabilirlik

Teknik 2009 yılı itibarıyla yalnızca rejeneratif fırınlara uygulanabilir olarak değerlendirilmekteydi, ancak hem yeni hem de mevcut tesisler ve petrol veya doğal gazla ateşlenen fırınlar için uygulanabilirdi.

3R işlemi, ağırlıklı olarak yüzdürme cam endüstrisinde uygulanmakta olup, diğer sektörde örnekleri çok azdır.

Rejeneratörlerde oluşan indirgeyici atmosferin, özellikle daha yüksek sıcaklıklar da söz konusu ise, belirli türlerdeki refrakter malzemelere zarar verebileceği endişesi mevcuttur. Teknikle ilgili çoğu deneyim, rejeneratörlerinde genellikle yüksek kaliteli refrakter malzemeler kullanılan yüzdürme cam fırınlarında kazanılmıştır. Refrakter hasarı olasılığı, bazı cam ambalaj fabrikalarında bulunan düşük kaliteli refrakterler (örneğin Ca, Fe ve Cr içerenler) için daha yüksektir. Yine duruma özel olmakla beraber, mevcut refrakterlerin termal ve kimyasal olarak daha dirençli malzemelerle değiştirilmesi ciddi maliyetlere sebep olabilir.

Tekniğin geliştiricileri, çoğu durumda rejeneratör değişimlerinin gerekli olmayacağını tahmin etmektedir.

Ekonomi

Tipik yatırım maliyetleri, portının sayısına ve fırının boyutuna bağlı olarak 200.000 ila 350.000 Avro arasında değişmektedir.

İşletme maliyetleri esas olarak rejeneratör haznelerinin tepesine enjekte edilen yakıtın (genellikle doğal gaz) fazladan maliyetlerden oluşur; bu nedenle, büyük ölçüde yakıt fiyatına bağlıdır. Teknolojinin kullanımı için ödenecek ruhsat ücretleri ek maliyet teşkil etmektedir. Ruhsat ücreti formülü oldukça karmaşıktır, ancak ruhsatın kullanım ömrü boyunca tipik olarak ton ergitilmiş cam başına yaklaşık 0,5 Euro'ya eşittir.

Yüzdürme cam

3R işleminin yüzdürme cama uygulanmasıyla ilgili ve $<500 \text{ mg/Nm}^3$ 'e eşdeğer olduğu tahmin edilen bir ulaşılan NO_x emisyon düzeyine dayalı olarak tahmini maliyet verileri aşağıda verilmiştir.

- Fırının boyutuna göre, yatırım maliyetleri yaklaşık 310000 Avro (500 ton/gün) ile 360000 Avro (900 ton/gün) arasında değişebilir.
- Fazladan doğal gaz ve 3R ruhsatından meydana gelen işletme maliyetleri yılda 1,06 milyon Avro ile 1,3 milyon Avro arasında değişebilir.
- 2007 yılındaki doğal gaz fiyatlarına dayanarak, 3R işleminin uygulanmasının özgül maliyeti, 500 ton/gün kapasiteli yüzdürme cam fırını için ton erimiş cam başına 6 ila 6,25 Avro ve 650 ton/gün kapasiteli fırın için ton erimiş cam başına 5,5 Avro'dur. NO_x emisyon gideriminin kg başına maliyeti, 1,4 – 1,8 Avro'dur. Yüzdürme cam fırınları için yıllık NO_x emisyon giderimi, fırın boyutuna ve başlangıçtaki NO_x emisyonlarına bağlı olarak tipik olarak 700 – 1000 ton NO_x /yıl'dır.
- Maliyet verileri, atık ısı kazanları ile ısı geri kazanımını içermez.

Cam ambalaj

3R işleminin cam ambalaj fırınlarına uygulanmasının tahmini maliyetleri aşağıda verilmiştir.

- Yatırım maliyetleri 185000 Avro (200 ton/gün) ile 280000 Avro (600 ton/gün) arasında değişmektedir.
- Tipik işletme maliyetleri, 200 ton/gün fırın kapasitesi için yıllık 300000 Avro'dur ve 600 ton/gün fırın kapasitesi için yılda 780000 Avro'ya varabilir. Buna dayanarak, özgül maliyetler küçük ve orta ölçekli cam ambalaj fırınları için ton erimiş cam başına 4 – 4,5 Avro ve çok büyük fırınlar için ton erimiş cam başına 3,75 Avro'dur.
- Hesaplanan NO_x emisyon giderimi maliyetleri giderilen kg NO_x başına 2,5 Avro'dur. Daha küçük cam ambalaj fırınları için (200 – 300 ton/gün) elde edilebilir azaltım yılda yaklaşık 125 – 150 ton NO_x emisyonu ve 600 ton/gün kapasiteli fırın için yılda 300 tondan fazla NO_x emisyonudur.
- Maliyet verileri, atık ısı kazanları ile ısı geri kazanımını içermez.

Artan yakıt maliyeti ve CO_2 emisyonu ile bağlantılı cezaların gelecekte 3R kullanımını etkilemesi muhtemeldir.

Bir dizi 3R uygulaması için maliyet verilerinin ve ilgili elde edilen NO_x emisyon gideriminin bir özeti 8.1.7, Tablo 8.8'de sunulmuştur.

Uygulamanın itici gücü

Yasal sınırlara uyum ve düşük yatırım maliyeti avantajı bu tekniğin kullanılmasının altındaki temel itici gücü oluşturur.

Örnek tesisler

2007 yılında, 3R ekipmanının kurulu olduğu en az 14 fırın vardı.

Uygulamalar ağırlıklı olarak yüzdürme cam sektöründe olup, diğer sektörlerde çok az örnek bulunmaktaydı.

Cam ambalaj sektörü:

St.Helens'taki United Glass'ta kısa süreli denemeler başarıyla gerçekleştirilmiştir (bu tesis 1998'de kapanmıştır). İşlemin uzun vadeli etkisi araştırılmamıştır.

Yüzdürme cam sektörü:

- Pilkington, Weiherhammer, Almanya
- Pilkington, Gladbeck, Almanya
- Pilkington, St.Helens, Birleşik Krallık, düz cam - üç fırın
- Pilkington, Finlandiya
- Pilkington, İsveç
- Pilkington, Marghera-Venedik, İtalya
- Pilkington, ABD, iki yüzdürme cam fırın
- Guardian Industries, Lüksemburg.

Özel cam sektörü:

Samsung Corning, Kore (TV camı)

Referans literatür

[40, Shulver ve diğerleri.1997] [65, GEPVP-GLS revizyonu için Öneriler 2007] [85, İspanyol MET Cam Kılavuzu 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008].

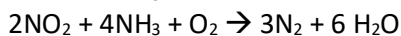
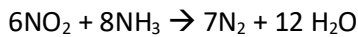
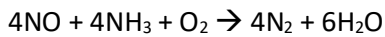
4.4.2.7 Seçici katalitik indirgeme (SCR)**Açıklama**

SCR, NO_x ile amonyağın katalitik bir yatakta uygun sıcaklıkta reaksiyona sokulmasını içerir. Her biri biraz farklı sıcaklık aralığında çalışan bir dizi katalizör mevcuttur. En yaygın katalizörler metalik ya da seramik bir alt malzemeye emdirilmiş vanadyum ve titanyum oksitleridir (genellikle TiO₂ ve V₂O₅). Reaksiyonun mikroskobik gözenekli yapıda gerçekleştiği zeolit moleküler elekler de kullanılabilir. Zeolitlerin performansı, yapıya platin veya paladyum gibi metaller eklenerek optimize edilebilir. Hangi katalizör kullanılırsa kullanılsın, optimum sıcaklığın 300 ile 450°C arasında olduğu, genellikle 200 ile 500 °C arasındaki doğru işletim sıcaklığının korunması önemlidir.

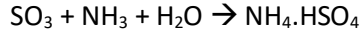
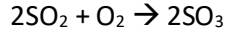
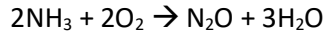
Cam sanayiinde kullanılan katalizör üniteleri modüler petek yapılarıdır, ancak diğer sanayilerde granüler veya plaka formlar da kullanılmaktadır. Ünitenin boyutu, arıtılan atık gazın hacmine ve istenen NO_x giderimine bağlıdır. Modüler yapı, bölümlerin kolayca değiştirilmesine veya daha fazla katalizör eklenmesine olanak tanır. Katalizör ömürleri birçok faktöre, ancak özellikle atık gaz bileşimi ve tesis tasarımına bağlıdır. Çoğu tedarikçi üç yıl veya daha uzun kullanım ömrü garanti eder ve çoğu endüstriyel uygulama için 5 ila 6 yıl boyunca faaliyette önemli bir gerileme olmadan çalışması beklenebilir.

Sistemler normalde %75 – 95 NO_x giderimi sağlayacak şekilde tasarlanır, ancak tipik uzun vadeli giderim verimlilikleri %70 ila 80 arasında kalır. Teoride, NO_x azaltma verimi NH₃: NO_x molar oranı arttıkça artar, ancak genellikle bu oran amonyak artığını en aza indirmek için 1:1'in altında tutulur. NO_x, aşağıda verilen genel reaksiyonlara göre NH₃ ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonlar, normalde yaklaşık 950 °C'de (bkz. 4.4.2.8, SNCR) meydana gelir; fakat gaz fazını oluşturmak üzere NO ile reaksiyona giren NH₃ katalizör tarafından soğurulduğunda sıcaklık azalır. Amonyak, ya sıvı NH₃ ya da sulu bir çözelti olarak katalizörün öncesinde enjekte edilir. Üre, bazı uygulamalarda kullanılmıştır ancak cam endüstrisi tarafından tercih edilmemektedir.

Ana yükseltgenme-indirgenme reaksiyonları şunlardır:



İstenmeyen bazı reaksiyonlar da gerçekleşebilir:



SCR ile N_2O üretimi çok düşüktür ve genellikle bir problem teşkil etmez. SO_3 oluşumu ve ardından amonyum bisülfata (NH_4HSO_4) reaksiyonu, özellikle yüksek kükürtlü yakıtlar kullanılıyorsa sorun olabilir. Amonyum bisülfat, katalizörü zehirleyebilir ve ekipmanın kirlenmesine ve korozyona neden olabilir. Alkali metal (örn. MgO , CaO , Na_2O , K_2O) veya ağır metalleri içeren bazı tozlar da katalizörü zehirleyici olabilir.

Yüksek toz sistemleri mevcut olmasına rağmen, cam işlemlerinde SCR ünitesinden önce bir toz giderme ünitesi kurulması gereklidir. Ünite, toz derişimini $10 - 15 \text{ mg/m}^3$ 'e düşürmelidir ve neredeyse her zaman elektrostatik toz tutucu olarak tercih edilir. Torbalı filtrelerin düşük çalışma sıcaklıkları, atık gazın katalizör için gerekli reaksiyon sıcaklığına yeniden ısıtılmasını gerektirecektir; bu, işletim maliyetlerini oldukça artırır ve genellikle aşırı pahalı bir yöntem olarak kabul edilir. Kalan ince toz ile körelmesini ve tıkanmaları önlemek için, katalizör yatağından hava üflenmesi de (yaklaşık iki saatte bir) gereklidir. ESP kullanımı, çoğu durumda ESP'nin öncesine bir asit gazı yıkama sisteminin de kurulması gerektiği anlamına gelir.

Elde edilen çevresel faydalar

Elde edilen NO_x emisyon seviyeleri esas olarak giriş derişimine ve kullanılan katalizör ve amonyak miktarına bağlı olacaktır. Olası amonyak gelişimini sınırlamak için amonyak seviyesi genellikle 1,1:1'in altında tutulur. Cam sanayiindeki bazı uygulamalar (örn. ambalaj ve düz cam sektörlerinde iki katmanlı katalizör uygulaması) için 500 mg/Nm^3 'ün altında emisyon derişimleri rapor edilmiştir. Tek katmanlı katalizörün kullanıldığı kurulumlar için 700 mg/Nm^3 civarında daha yüksek değerler rapor edilmiştir.

Teoride, yeterli miktarda katalizör ile çok düşük emisyon seviyeleri mümkündür, ancak pratikte performansı kısıtlayan birçok sınırlayıcı faktör vardır.

Birincil NO_x azaltma tedbirlerinin yüksek düzeyde mevcut olmadığı durumlarda, tipik cam fırını emisyonları 1200 ile 2000 mg/m^3 aralığında olacaktır ve % $80 - 90$ oranında bir azaltma ile elde edilen değerler cam ambalaj sektörü için $<200 - 500 \text{ mg/m}^3$ ile $0,5 - 1,0 \text{ kg/ton}$ ergitilen cam aralıklarında, düz cam için $1 - 1,5 \text{ kg/ton}$ ergitilen cam aralığında olacaktır. 4.4.2.1'de açıklanan birincil tedbirlerle birlikte kullanıldığında çok düşük rakamlar beklenebilir, ancak bu durumda, özellikle azaltılan ton NO_x başına genel maliyetlerin ve ortamlar arası etkilerin dikkate alınması gerekecektir.

Uygulamada, yukarıda daha önce bildirildiği gibi, cam ambalaj ve düz cam uygulamaları için gerçek değerler $400 - 800 \text{ mg/Nm}^3$ aralığında olup, giderme verimlilikleri başlangıçtaki NO_x derişimine bağlı olarak % $70 - 80$ aralığındadır. 5000 mg/Nm^3 kadar yüksek başlangıç NO_x derişimi içeren, harman formülasyonunda nitrat kullanan özel cam üretimleri için, SCR tekniğinin uygulanmasıyla 900 mg/Nm^3 'e yakın değerler rapor edilir. Bu rakamlar genellikle $8 - 20 \text{ mg/Nm}^3$ aralığında amonyak artışı ile ilişkilidir; ancak, aralığın alt ucundaki NO_x derişimlerine ulaşıldığında veya yalnızca tek katmanlı katalizör sistemi uygulandığında 30 mg/Nm^3 'ün altında değerler rapor edilir.

Ortamlar arası etkiler

SCR tekniğinin uygulanmasıyla ilgili ana ortamlar arası etkiler, potansiyel amonyak emisyonları, elektrik enerjisi kullanımı ve katalizörün ömrünün sonunda katı atık üretimidir.

Amonyak kullanımı, yalnızca reaksiyona girmemiş çözeltinin kayması ile değil, aynı zamanda amonyak taşınması, depolanması ve kullanımına dair çevresel ve yasal güvenlik gereklilikleriyle de ilişkilidir (tehlikeli maddeleri ilgilendiren büyük kaza tehlikelerinin önlenmesi ve kontrolü için, 96/82/AK ve 2003/105/AK sayılı Direktiflere bakınız). Amonyak üretimiyle ilgili dolaylı emisyonlar da dikkate alınmalıdır.

SCR sisteminden atık gazlara amonyak kayması normalde 30 mg/Nm^3 'ün altındadır. NO_x başlangıç seviyesi 2400 mg/Nm^3 ve giderme verimliliği %71 olan bir yüzdürme cam fabrikasında tek katmanlı katalizör SCR uygulaması durumunda yaklaşık 30 mg/Nm^3 'lük bir derişim rapor edilmiştir. Yaklaşık 340 mg/Nm^3 'lük düşük kısa vadeli NO_x derişimi ile bağlantılı olarak bir yüzdürme cam fırınında, iki katmanlı katalizör uygulaması için 33 mg/Nm^3 'lük derişim rapor edilmiştir. 5278 mg/Nm^3 başlangıç derişimine ve %80 azaltma verimliliğine sahip bir özel cam fırını için 20 mg/Nm^3 'lük amonyak emisyonları rapor edilmiştir. Normalde ek bir katalizör tabakası, amonyak kaymasını azaltabilir ve NO_x emisyonlarını düşürme olasılığını artırabilir (toplam NO_x giderimi > %80). Ancak, iyileştirilmiş performans, dikkate alınması gereken ek bir maliyet gerektirir. Elektrik kullanımı (ekstra fan kapasitesi ile katalizör modüllerinin temizlenmesine ve baca gazındaki amonyak çözeltisini atomize etmeye yönelik basınçlı hava için) ve amonyak tüketimi, üretimlerinden kaynaklanan dolaylı emisyonları getirir. Yüzdürme cam fırınlarına uygulanan SCR tekniği için yapılan tahmin, yüzdürme cam fırınının boyutuna bağlı olarak yılda 1,8 – 2,5 ton dolaylı NO_x emisyonu ve yılda 800 – 1500 ton CO₂ ile sonuçlanır. Dolaylı NO_x emisyonları, SCR tarafından azaltılan NO_x miktarının sadece %0,3 ila 0,5'ini temsil eder (500 – 600 ton/gün kapasiteli yüzdürme cam ergitme fırınları için yılda 600 – 1300 ton) ve dolaylı CO₂ emisyonları, cam fırının CO₂ emisyonlarının neredeyse %1'idir.

Katalizörün kullanım ömründen sonra yenilenmesi gerektiğinde atık malzeme üretilir. Tipik katalizör ömürleri 4 – 5 yıldır (cam ambalaj için >10 yıl rapor edilmiştir) ve üretilen atık hacmi günde 700 ton kapasiteli bir yüzdürme cam fırını için 20 m^3 olabilir.

İşletim verileri

Cam sanayiindeki uygulamaların büyük bölümünde, SCR genellikle en az 500 mg/Nm^3 'lük değerlerin öngörüldüğü ilgili yerel mevzuata uyum sağlamak için kullanılmaktadır. 500 mg/Nm^3 (yüksek giriş derişimi için <800 mg/Nm^3) altındaki NO_x emisyon seviyeleri normalde SCR kullanılarak elde edilir. Mevcut işletimsel veriler, hem NO_x hem de artık amonyak emisyonlarıyla ilgili yürürlükteki mevzuattan etkilenir.

Bazı sanayilerde <200 mg/Nm^3 'lük değerler elde edilmiştir, bu civarlardaki rakamların cam sanayiinde bazı durumlarda elde edilmesi beklenebilir. Ancak, belgenin yazıldığı dönemde (2010), bu düşük rakamlara cam sanayiinde pratikte henüz ulaşılmadığına dikkat edilmeli ve bunun hem teknik, hem de ekonomik nedenleri göz önünde bulundurulmalıdır.

SCR tekniğinin cam sanayiindeki mevcut uygulamalarının çoğunda, %70-80 civarında azaltımlar elde edilmiştir, ancak özellikle yeni SCR kurulumlarında, daha yüksek katalizör hacimleri (örn. ikinci bir katalizör modülü katmanı) sayesinde bu oranın %80-95'e kadar çıkması olasıdır.

Belgenin yazıldığı dönemde (2010), cam ambalaj ve yüzdürme cam fırınlarında, SCR sonrasında 30 mg/Nm^3 'lük NH₃ derişimleri aşılmadan bu teknikte elde edilen en iyi değerler 460 – 500 mg/Nm^3 aralığındaydı.

SCR tekniğinin bir ESP ve kuru yıkama aşaması ile birlikte kullanıldığı ambalaj, düz ve özel cam üreten örnek tesislere ilişkin veriler Tablo 4.20'de gösterilmektedir.

Tablo 4.20: Örnek tesislerde SCR tekniğinin kullanımıyla ilişkili NO_x emisyon seviyeleri

	Cam ambalaj ⁽¹⁾	Düz cam ⁽²⁾	Özel cam ⁽³⁾
Yakıt	Doğalgaz	Doğalgaz	Doğal gaz/hafif fuel oil
Fırın tipi	Arkadan ateşlemeli (dört fırın)	Yüzdürme	Yandan ateşlemeli rejeneratif
Toplam ergitme hızı	640 ton/gün	600 ton/gün	170 ton/gün
SCR kurulumu	İki katmanlı petek katalizörü	Tek katmanlı petek katalizörü	10 m ³ hacimli petek katalizörü
İndirgeyici madde	Amonyak çözeltisi %25	Amonyak çözeltisi %25	Amonyak çözeltisi %25
İndirgeyici madde tüketimi	145 l/s	200 l/s	Mevcut değil
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)	Yarım saatlik ortalama değerler	Yarım saatlik ortalama değerler	Yarım saatlik ortalama değerler
NO _x emisyonları			
mg/Nm ³ , % 8 O ₂ içeren kuru gaz	456	700	950
kg/t cam	0,97 ⁽⁴⁾	1,12	6,05
NO _x giderme verimliliği	% 75	% 71	% 82
Amonyak emisyonları			
mg/Nm ³ , % 8 O ₂ içeren kuru gaz	19,5	<30 ⁽⁵⁾	20

(1) Kurulum dört fırından oluşmaktadır.

(2) Kurulumda, NO_x, NH₃ ve diğer parametrelerin sürekli izlenmesine yönelik donanım bulunmaktadır.

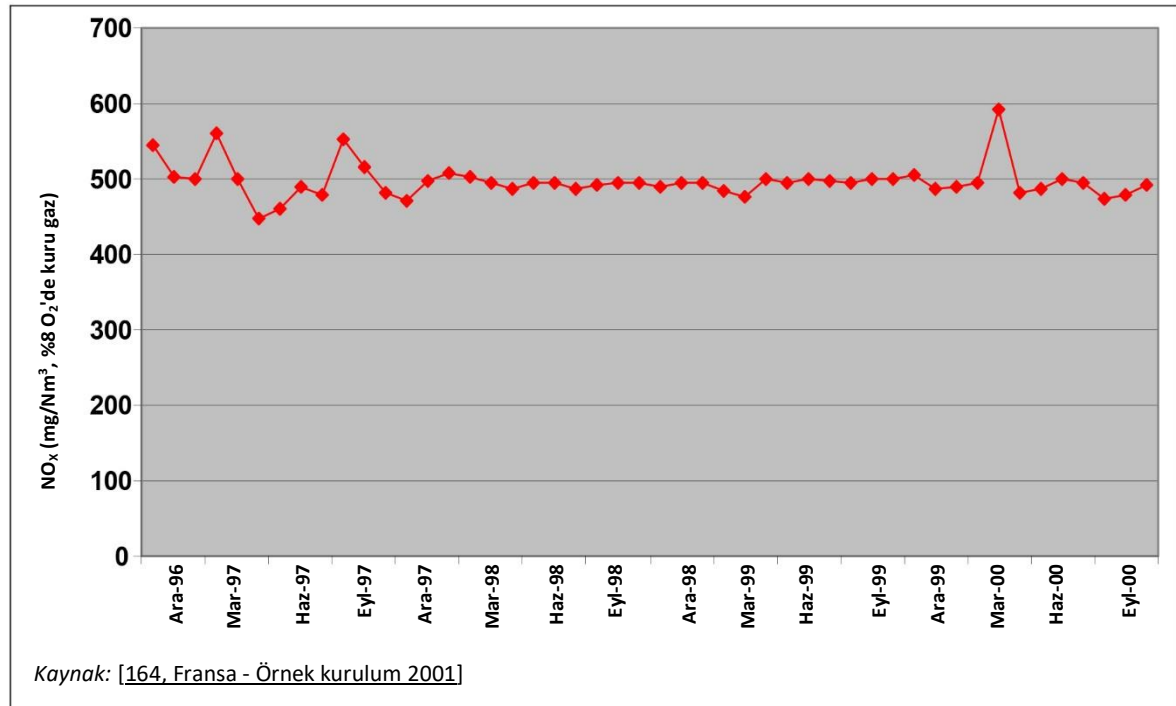
(3) Kurulum bir ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır. Harman formülasyonu nitratlar içerir.

(4) Değer, sağlanan bilgilere (kütle akışı, baca gazı hacmi, erimiş cam, emisyon derişimi) dayalı olarak hesaplanmıştır.

(5) Değer, spot ölçümlerini referans alır. Sürekli ölçümlerde ortalama derişimler yaklaşık 10 mg/Nm³ olarak ölçülmüştür.

Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [84, İtalya-Rapor 2007]

SCR ile donatılmış bir yüzdürme cam tesisinden elde edilen NO_x emisyon derişimlerinin zaman içindeki değişimi Şekil 4.8'de sunulmaktadır. Şekilde gösterilen veriler, sürekli NO_x emisyon derişimi ölçümlerini içerenle aylık ortalama değerleri referans alır.

**Şekil 4.8: SCR ile donatılmış bir yüzdürme cam fırını için zaman içinde NO_x derişiminin değişimi**

Aynı yüzdürme cam fırınında, sertifikalı bir laboratuvar tarafından benzer bir zaman aralığında süreksiz ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin sonuçları, hem derişim (%8 O₂ mg/Nm³) hem de kütle emisyonları (kg/ton erimiş cam) olarak Tablo 4.21'de sunulmaktadır.

Tablo 4.21: SCR ile donatılmış bir düz cam fırınından gelen süreksiz NO_x emisyon ölçümlerinin sonuçları

Tarih	NO _x emisyonları ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³ % 8 O ₂	kg/ton erimiş cam
Şub-97	485	1,15
Nis-98	419	1,01
Kas-98	372	0,91
Nis-99	433	1,04
Eki-99	375	0,92
Nis-00	343	0,84
Kas-00	411	1,00

⁽¹⁾ Değerler, sertifikalı bir laboratuvar tarafından gerçekleştirilen süreksiz ölçümleri referans alır.
Kaynak: [164, Fransa - Örnek kurulum 2001]

SCR işlemi için kullanılan NH₃ reaktifi genellikle önceden buharlaştırılır ve katalizör yatağından önce basınç altında buhar olarak baca gazına enjekte edilir. Sıvı amonyak veya sulu bir çözelti (genellikle %25) kullanılabilir. Sıvı NH₃ tehlikeli bir maddedir ve depolanması ve kullanımında, maliyet ve güvenliğe ilişkin, civardakilerin haberdar edilmesi dâhil önemli hususlar mevcuttur. Çoğu cam işleminde bu tür kimyasallar kullanılmaz ve işletmeciler yine dikkatli şekilde saklanması ve kullanılması gereken sulu çözeltileri tercih eder. Başta konutların ve hassas ortamların yakınlığı olmak üzere tesise özgü hususlar dikkate alınmalıdır.

Amonyum bisülfat (NH₄•HSO₄) oluşumunu önlemek için SCR çalışma sıcaklığı 330°C'nin üzerinde olmalıdır. Bu yoğunlaşma/birikme ürünü, katalizör yüzeylerini ve SCR kurulumunu kirleterek düşük performansa neden olabilir. Bu etkiler meydana gelmediğinde, çoğu cam fırını ve baca gazı özelliği için katalizörün ömrünün en az 4 – 5 yıl olması beklenir, ancak çok daha uzun süreler (10 – 12 yıla kadar) öne sürülmüştür.

700 ton/gün erimiş cam (90000 Nm³/saat baca gazı hacmi) kapasiteli bir yüzdürme cam fırını için gereken tipik katalizör hacmi 20 m³'tür (tek katman). Normalde, ton NO_x emisyon giderimi başına 0,008 m³ katalizör kullanıldığı ve 4 – 5 yıllık bir süre için kullanılan 20 m³'lük bir hacmin, toplam NO_x emisyonlarını dönem boyunca yaklaşık 2500 – 3000 ton azaltacağı tahmin edilmektedir.

Çift katmanlı bir katalizörün kullanılması, NO_x giderme verimliliğini artıracak ve amonyak kaymasını azaltacaktır. Tek bir katmanda, belirli bir amonyak dozlama seviyesi için NO_x giderimi yaklaşık %75 – 80'dir. Tek katmanlı bir katalizörle (1 – 1,3 metre uzunlukta) uygulanan daha yüksek amonyak dozaj hızı, amonyak kaymasını kabul edilemez değerlere yükseltebilir.

SCR tekniğinin uygulanmasıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.22'de gösterilmektedir.

Tablo 4.22: SCR tekniğinin temel avantajları ve dezavantajları

Avantajlar: • Çok yüksek NO_x azaltma verimliliği • Sadece termal NO_x değil, fırındaki tüm kaynaklardan gelen azot oksitleri (NO_x) azaltır • Entegre bir hava kirliliği kontrol sisteminin parçası olabilir • Cam sanayiinde farklı sektörlerde birkaç örneği vardır • Tedarikçiler genellikle performans teminatı sağlar Dezavantajlar: • Bazı uygulamalarda (örn. bazı bor içeren camlar için) hala çözülmesi gereken teknik sorunlar • Amonyak tüketilir ve kısmen havaya yayılır. Amonyak üretimi ile ilgili ortamlar arası etkiler, depolama ve taşıma ile ilgili çevre ve güvenlik endişeleri. • Enerji sistem tarafından tüketilir • Toz azaltma ve asit gazı yıkama sistemleri ile birlikte kurulması, düşük toz ve SO₂ seviyeleri gerekir • Özellikle küçük tesisler için nispeten yüksek sermaye maliyeti • Büyük alan gereksinimi • Maliyet etkinliği, diğer ucuz tekniklerdeki gelişmeler ile zayıflamaktadır • Katalizör ömürleri konusunda endişeler sürmektedir • SCR katalizörü ile diğer emisyonlar (ör. SO₂) arasındaki olası etkileşim • Çalışma sıcaklığı, ısı geri kazanım olanaklarını sınırlar • Reküperatif fırınlar için gaz soğutması gerekebilir • Gerekli asgari çalışma sıcaklığı nedeniyle, atık gaz yeniden ısıtılmadıkça SCR, torbalı filtrelerin kullanımıyla uyumlu değildir.

Uygulanabilirlik

Prensipte SCR, cam sanayiindeki hem yeni hem de mevcut proseslerin çoğuna uygulanabilir. Bununla birlikte, belirli durumlarda tekniğin uygulanabilirliğini ciddi şekilde sınırlayabilecek bir dizi husus mevcuttur.

Baca gazındaki yüksek SO₂ seviyeleri, katalizörün zehirlenmesine ve korozyona neden olan amonyum bisülfat oluşumuna neden olabilir. Bu durum, yüksek sülfat seviyelerine sahip gaz yakıtlı fırınlar için de geçerli olabilir. Bu sorunu önlemek için baca gazı sıcaklığı 330°C'nin üzerinde tutulmalıdır. SCR maliyetlerinin en önemli boyutlarından biri, zehirlenme durumunda önemli ölçüde azalacak olan katalizör ömrüdür. SCR, elektrik endüstrisinde yüksek SO₂ derişimlerine sahip gazları arıtmak için kullanılmıştır ve ekipmanın öncesinde verimli baca gazı kükürt giderme tekniklerinin kullanılmasıyla, sorun ortadan kaldırılmıştır. Cam sanayiinde genellikle kullanılan gaz yıkama sistemlerinin SO₂ giderme veriminin SCR için yeterli olması pek mümkün değildir. Daha verimli SO₂ giderme, maliyetleri önemli ölçüde artıracak ve toplanan malzemenin fırına geri dönüştürülmesini zorlaştıracak, dolayısıyla ilave bir atık akışı meydana getirecektir. Buna dair daha detaylı bilgiler 4.4.3'te verilmiştir.

Ancak, fuel-oil kullanan fırınlarda SCR kullanımıyla ilgili başarılı deneyimler rapor edilmiştir. Bu, fuel oil kullanımının artık SCR'nin uygulanması için sınırlayıcı bir faktör olmadığını düşündürebilir; ancak, bu yönün iyice araştırılması gerekir.

SCR, özellikle yıkama ve filtreleme üniteleri halihazırda kurulu değilse, oldukça büyük bir alan gerektirir. Bu durum, alanın sınırlı olduğu bazı mevcut tesislerde tekniğin maliyetini önemli ölçüde artırabilir, hatta bazı yerlerde uygulanmasını engelleyecek kadar pahalı hale getirebilir.

SCR'nin uygulanabilirliğini etkileyen bir diğer önemli faktör de baca gazlarının sıcaklığıdır. SCR'yi bir torbalı filtre sistemi ile birlikte kullanmak genellikle pratik değildir, çünkü torbalı filtrenin 180 – 200 °C aralığındaki düşük çalışma sıcaklığı, genellikle atık gazın yeniden ısıtılmasını gerekli kılar. Gazı yaklaşık 400 °C'ye yeniden ısıtmanın maliyeti, bir cam ergitme fırınının enerji girdisine kıyasla enerji tüketiminde %5 - 10'luk bir artışla birlikte, genellikle aşırı derecede pahalıdır.

ESP filtrasyonu durumunda bile, büyük üretim değişimleri (örn. çok ince yüzdürme cam üretimi) nedeniyle sıcaklık penceresi çok dar olabilir ve SCR sisteminin verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilir.

SCR ayrıca çok düşük bir toz düzeyi gerektirdiğinden, (tercihen $<10 \text{ mg/m}^3$) mevcut ESP yetersiz ise, modernize edilmesi veya yenisiyle değiştirilmesi gerekecektir.

Cam sanayiinde, yukarıda açıklanan uygulanabilirlik sınırları dışında, SCR kullanımında belirleyici olan faktör diğer tekniklere kıyasla maliyetidir.

8.1.7'de, NO_x giderimi için çeşitli tekniklerle ilişkili maliyetler rapor edilmekte ve karşılaştırılmaktadır. SCR, birincil önlemlere kıyasla nispeten pahalı bir tekniktir. Tüm bu teknikler son yıllarda büyük gelişim göstermiştir. Sektörün geneli, azaltılmış emisyonları 2500 mg/Nm^3 'ün altında olan birçok uygulamada (yani nitrat eklenmeyen veya çok yüksek sıcaklıklar gerektiren yerlerde) SCR'yi NO_x emisyonlarını azaltma konusunda en maliyet etkin teknik olarak görmediyse de, enerji maliyetlerinin gelişimi bu tekniği diğer seçeneklere kıyasla (örn. yakıt ile kimyasal indirgeme veya giriş derişimlerinin çok yüksek olduğu bazı oksi-fuel ateşleme uygulamaları) daha cazip hale getirebilir.

Belgenin yazıldığı sırada (2010) bazı testler, yaklaşık 400°C sıcaklıklara dayanabilen gömülü katalizörlü (CerCat baca gazı arıtma sistemi) özel bir seramik filtre kullanılan bir cam fırınında gerçekleştirilmektedir. Ancak, cam sanayiinde yalnızca test denemeleri yapıldığından ve bu tekniğin tam ölçekli endüstriyel tesislere uygulanmasına ilişkin veriler henüz mevcut olmadığından, hala gelişmekte olduğu düşünülmektedir (bkz. 6.7).

Teknik, yüksek seviyelerde bor içeren belirli camlar (farmasötik borosilikat tüpler) için kanıtlanmış olsa da, cam yünü veya kesintisiz cam elyafı için henüz denenmemiştir. Bu süreçler için potansiyel sorun, atık gazlarda uçucu bor bileşiklerinin (özellikle borik asit) var olmasıdır. Bu malzemeler, 60°C 'ye kadar tuz veya asidik materyal oluşturacak şekilde yoğunlaşabilir ve SCR'nin çalıştığı sıcaklıklarda önemli miktarlarda bulunmaları muhtemeldir. Bunlar, katalizörün performansını ciddi şekilde etkileyebilir ve kurum üfleme yoluyla giderilmeleri zor olabilir.

Harman bileşiminde yüksek düzeyde potasyum içeren, cam ev eşyası üreten tesislere SCR uygulanması, alkali bileşenin katalizör üzerindeki potansiyel zehirlenme etkisi nedeniyle sorunlu olabilir.

Ekonomi

SCR'nin maliyeti temelde tesisin boyutuna (arıtılacak atık gaz hacmine) ve arzu edilen NO_x azaltma verimine bağlıdır. Genel anlamda tekniğin yüksek yatırım maliyetlerine ve kısmen yüksek işletme maliyetlerine sahip olduğu kabul edilir. Ayrıca, SCR üç aşamalı entegre bir azaltma sistemi olduğundan, tekniğin maliyeti büyük ölçüde ESP ve atık gaz yıkayıcısının maliyetinin dâhil edilip edilmediğine bağlı olacaktır. Bazı durumlarda, SCR kurulumu olmadan fırının toz giderme ekipmanına ihtiyaç duymayabileceği ileri sürülebilir, ancak çoğu durumda bu elzem bir gerekliliktir.

Mevcut maliyet bilgilerinin yorumlanması her zaman kolay değildir ve duruma özeldir. Yazım sırasında (2010) mevcut olan bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

8.1'de rapor edilen metodolojiye dayalı olarak, farklı üretim türleri ve fırın kapasiteleri için maliyet verileri tahmin edilmiştir. Veriler, gerçek maliyetlere (ör. tedarikçilerden alınan fiyatlar) ve hesaplanan değerlere [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] dayanmaktadır.

SCR'nin cam fırınlarına uygulanmasıyla ilgili maliyetlerin tahmin edilmesinde kullanılan ilgili emisyon seviyeleri 400 – 500 mg/Nm³ NO_x aralığındadır.

Aşağıda sunulan maliyet verileri, öncesinde gerekli olan kükürt giderme ve toz giderme ekipmanı kurulumlarıyla ilgili yatırım ve işletme maliyetlerini içermez.

Yüzdürme cam üretimi

- Tipik yatırım maliyetleri, katalizör, katalizör muhafazası, bir fan veya katalizör üzerindeki basınç düşüşünün üstesinden gelmek için artırılmış fan kapasitesi (yaklaşık 10 mbar), ekstra kanallar, amonyak çözeltisi depolama, NO_x izleme ve saha hazırlığı için güvenlik önlemlerini içerir.
- Toplam yatırım maliyeti, fırının büyüklüğüne (500 – 900 ton/gün) bağlı olarak 1,9 milyon Avro ile 3,1 milyon Avro arasında değişebilir; daha yüksek rakam 900 ton/gün düz cam üretimi içindir. Yatırım maliyetleri, kanalların toplam uzunluğuna, baca gazı hacmine ve alınacak güvenlik önlemlerine bağlı olarak tesisten tesise farklılık gösterebilir.
- İşletme maliyetleri esas olarak amonyak çözeltisi (veya üre), elektrik, bakım ve katalizörden oluşur. Verilen maliyetler, yaklaşık 1,2 – 1,4 metre yüksekliğinde bir katalizör tabakası ve katalizör modülleri olan SCR'ye ilişkindir.
- Gaz yakıtlı fırınlar için yaklaşık 1800 – 2000 mg/Nm³ ve petrol yakıtlı bir yüzdürme cam fırını için 1400 mg/Nm³ olan başlangıç NO_x derişim seviyeleri baz alınarak, yüzdürme cam fırınları için yıllık işletme maliyetleri yaklaşık 331000 Avro (500 ton/gün kapasiteli fırın) ile 450000 Avro (900 ton/gün kapasiteli fırınlar) arasında değişmektedir. Amonyak tüketimi ve ilgili maliyetler, azaltılmamış baca gazlarındaki daha yüksek NO_x derişimleri durumunda artacaktır. Düz cam için tipik ek üretim maliyetleri yaklaşık ton erimiş cam başına yaklaşık 2,5 milyon Avro'dur. Daha küçük düz cam üretim kapasiteleri (<600 ton/gün) ve gazla ateşleme için bu miktarlar ton cam başına 3 Avro'ya kadar çıkabilir.
- SCR'nin yüzdürme cam fırınlarına uygulanmasıyla bağlantılı NO_x emisyonlarının azaltılmasının kg başına özgül maliyetleri yaklaşık 0,7 – 0,9 Avro aralığındadır.

Cam ambalaj üretimi

- Tipik yatırım maliyetleri, fırının boyutuna bağlı olarak yaklaşık 840000 ila 1,27 milyon Avro aralığında olabilir; daha yüksek değer 450 ton/gün kapasiteli bir fırın, daha düşük değer ise 200 ton/gün kapasiteli bir fırın içindir. Baca gazı azaltma sistemini yükseltmek için ek yatırımlar gerekebilir (ör. düşük partikül ve SO_x derişimleri).
- İşletme maliyetleri 200 ton/gün kapasiteli bir fırın için yaklaşık 75000 – 80000 Avro olup 450 ton/gün kapasiteli daha büyük bir fırın için yılda yaklaşık 136000 Avro'ya varır.
- Ton erimiş cam başına özgül maliyetler yaklaşık 1,75 – 2,6 Avro aralığında olacaktır.
- Daha düşük özgül enerji tüketimi ve azaltılmış baca gazı hacmi nedeniyle, ton erimiş cam başına özgül maliyetler, yüzdürme cam fırınlarına kıyasla daha düşüktür. Fırının boyutuna bağlı olarak, üretim için ek maliyetler, ton erimiş cam başına 1,8 ila 2,6 Avro aralığındadır, daha düşük değerler daha büyük fırınlar içindir.
- Bir kg NO_x emisyon giderimi başına özgül maliyetler, yüzdürme cam fırınlarına kıyasla daha yüksektir ve cam ambalaj fırınının boyutuna bağlı olarak 1,3 – 1,7 Avro aralığındadır. Daha düşük fırın kapasitesi ile özgül maliyetlerde artışı getirir.

Cam ev eşyası üretimi

SCR'nin cam ev eşyası sektöründeki tesislere uygulanmasına ilişkin herhangi bir özgül maliyet verisi mevcut değildir, çünkü bu teknik şimdilik sektörde uygulanmamaktadır. Cam ambalaj sektöründeki SCR uygulamasına ilişkin maliyet verilerinden dışkestirim yoluyla, aşağıda açıklanan maliyetler tahmin edilmiştir.

- Sofra takımı üreten yaklaşık 35 ton/gün kapasiteli bir reküperatif fırın için SCR uygulaması, yaklaşık 0,5 milyon Avro'luk yatırım maliyetlerini (saha hazırlama, ekstra fan kapasitesi, amonyak çözeltisi depolama dahil) ve yıllık 40000 Avro'ya kadar işletme maliyetlerini getirecektir. Ton erimiş cam başına özgül maliyetlerin 8 Avro olması tahmin edilir. NO_x emisyon giderimi, giderilen her kg NO_x için 4 – 4,5 Avro civarında özgül maliyetlerle yılda yaklaşık 20 – 25 ton NO_x olacaktır.
- Daha büyük bir sofra gerci rejeneratif fırını için, yatırım maliyetleri yaklaşık 750000 ila 800000 Avro ve işletme maliyetleri yıllık 80000 Avro olacaktır; özel maliyetler ise ton erimiş cam başına yaklaşık 5 Avro ve kg NO_x emisyon giderimi başına 1,4 Avro'dur.

Genel olarak, fazladan bir katalizör modülü katmanının eklenmesi, SCR uygulamasının maliyetini normalde ton erimiş cam başına yaklaşık 0,6 ila 0,8 Avro arasında artıracak ve yaklaşık 100 mg NO_x/Nm³'lük bir ek azalma üretecektir. İlgili ekstra maliyetler, katalizör için fazladan maliyetler artı fanın geliştirilmiş kapasitesi için fazladan elektrik maliyetleri dâhil olmak üzere, herhangi bir ilave kg NO_x emisyonu giderimi başına yaklaşık 2,2 Avro olacaktır.

Bir dizi yüzdürme cam fırını, cam ambalaj fırını için tipik maliyet seviyelerinin (yatırım, işletme, ton erimiş cam başına özgül maliyetler ve kg NO_x emisyon giderimi başına özgül maliyetler) ve cam ev eşyası fırınlarında SCR'nin varsayımsal uygulamaları için tahmini maliyetlerin bir özeti 8.1.7, Tablo 8.8'de sunulmuştur.

Cam ambalaj, düz cam ve özel cam üreten tesisler için SCR tekniğinin kullanımına ilişkin bir takım gerçek maliyet verisi örneği (ESP ve kuru yıkama aşaması ile bağlantılı olarak) Tablo 4.23'te verilmektedir.

Tablo 4.23: Cam ambalaj, düz cam ve özel cam üreten tesislerde SCR tekniğinin kullanımına ilişkin maliyet verileri

	Cam ambalaj ⁽¹⁾	Düz cam	Özel cam ⁽¹⁾
Yakıt	Doğalgaz	Doğalgaz	Doğal gaz/hafif fuel oil
Toplam üretim kapasitesi	640 ton/gün	600 ton/gün	220 ton/gün
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)	456 mg/Nm ³ 0,97 kg/t cam	700 mg/Nm ³ 1,12 kg/t cam	950 mg/Nm ³ 6,05 kg/t cam
Emisyon kontrol sistemi	SCR + ESP + Ca(OH) ₂ ile kuru fırçalama	SCR + ESP + Ca(OH) ₂ ile kuru fırçalama	SCR + ESP + Ca(OH) ₂ ile kuru fırçalama
İlişkili maliyetler ⁽²⁾			
Amonyak depolama dâhil olmak üzere SCR için yatırım maliyetleri	2,35 milyon Avro	Mevcut değil	1,5 milyon Avro
ESP + kuru yıkama için yatırım maliyetleri	3,95 milyon Avro	Mevcut değil-	2,8 milyon Avro
Toplam yatırım maliyetleri	6,3 milyon Avro	5,0 milyon Avro	4,3 milyon Avro
Amortisman süresi	13 yıl	Mevcut değil	10 yıl
SCR + ESP ve kuru yıkayıcı için yıllık amortisman maliyetleri	312 550 EUR/yıl + 525 350 EUR/yıl	Mevcut değil	199 500 EUR/yıl + 372 400 EUR/yıl
Katalizör için özgül yatırım maliyetleri	2,00 EUR/ton cam	Mevcut değil	9,34 EUR/ton cam
Amonyak temini maliyeti	106 000 EUR/yıl	Mevcut değil	Mevcut değil
Emisyon kontrol sistemi için özgül yatırım maliyetleri	5,61 EUR/ton cam	4,5 EUR/ton cam	19,77 EUR/ton cam
⁽¹⁾ Maliyetlere yardımcı teçhizat, üfleyici, boru hattı, amonyak deposu vb. dahildir.			
⁽²⁾ Maliyet verileri, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir.			
Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [84, İtalya-Rapor 2007]			

Uygulamanın itici gücü

Ana itici güç, yasal emisyon sınır değerlerine uyumdur.

Örnek tesisler

Tablo 4.24, işletim parametrelerinin bir özeti ile SCR tekniği ile çalışan tesislerin bir listesini göstermektedir.

Tablo 4.24: SCR tekniği ile çalışan tesisler ve çalışma parametreleri

Tesisin adı ve konumu	Gaz hacmi Nm ³ /saat	Giriş mg/m ³	Çıkış mg/m ³	Azaltma (%)	NH ₃ mg/Nm ³
Schott-Rohrglas, Mitterteich, Almanya (özel cam)	60000	5000	1500	70	<20
Euroglas SA, Hombourg, Fransa (yüzdürme cam)	55000	2000	500	75	<5
AGC Flat Glass Europe, Cuneo, İtalya (yüzdürme cam)	70000	2400	700	71	<30
Ardagh, Bad Münder, Almanya (cam ambalaj)	60000	1300	<460	>% 65	19,5
Quinn Glass, Ince, Birleşik Krallık (cam ambalaj)	50000	1100	<500	55	<30

2007 yılında, düz cam sektöründe aşağıdakiler dâhil olmak üzere toplam yedi SCR tekniğinin faaliyette olduğu rapor edilmiştir:

- Euroglas SA, Hombourg, Fransa (yüzdürme cam)
- Euroglas SA, G.Osterweddingen, Almanya (yüzdürme cam)
- AGC Flat Glass Europe, Cuneo, İtalya (yüzdürme cam)
- AGC Flat Glass Europe, Roux, Belçika (yüzdürme cam)
- Interpane Vitrage France S.à.r.l. Seingbouse (yüzdürme cam), 2007'den itibaren SCR ile
- AGC Flat Glass Europe, Boussois, Fransa.

2008 – 2009 dönemi için birkaç uygulama daha planlanmıştır.

Referans literatür

[33, Beerkens 1999] [47, ANFFECC 1999] [7, Ind.duVerre 1996] [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007] [64, FEVE 2007] [88, FEVE Proposal Ch.4-NO_x 2007] [75, Almanya- HVG Cam Sanayii raporu 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] [84, İtalya-ENEA Raporu 2007] [Schmalhorst, E.; Ernas, T.; Jeschke, R.: Cam ambalaj fırınları için bir SCR DeNO_x tesisi deneyimi. Glastechn. Ber. Glass Sci. Technol. 70 (1997) hayır. 11 s. 354-358].

4.4.2.8 Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)**Açıklama**

Termal DeNO_x olarak da bilinen seçici katalitik olmayan indirgeme işleminde, baca gazındaki azot oksitler, yüksek sıcaklıkta amonyak veya üre ile reaksiyona girerek azota indirgenir. Cam sanayiinde, üre kullanılan bazı uygulamalarda esas olarak amonyak ve sulu amonyak (tipik kütle olarak %25 sulu çözelti) kullanılır. İlgili kimyasal reaksiyonlar, yukarıdaki 4.4.2.7 kısmında açıklanan SCR için olanlarla aynıdır. Ancak reaksiyonlar, katalizöre ihtiyaç duyulmadan daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir. Çalışma sıcaklığı 900 – 1050 °C aralığındadır, ancak optimum sıcaklık amonyak için 950 °C ve üre için 1000 °C civarındadır.

Bazı uygulamalarda, atık gaza hidrojen eklenmesinin reaksiyonun daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesine yardımcı olabileceği önerilmiştir, ancak bu tür bir uygulama cam sanayiinde rapor edilmemiştir. SNCR'de, SCR'ye kıyasla fırına daha yakından amonyak enjekte edilir ve genellikle bir taşıyıcı gaz içerir. Tekniğin verimi bir dizi faktöre bağlıdır, bunlardan en önemlileri:

- sıcaklık
- başlangıç NO_x derişimi
- eşit dağılmış reaktif ve baca gazı karışımı
- amonyağın azot oksite (NO_x) oranı; ve
- 900 – 1050°C sıcaklık aralığında reaksiyon süresi (1 – 2 saniye gereklidir).

900 °C'nin altındaki NH_3 enjeksiyonu amonyak kaymasına ve verimin düşmesine neden olduğundan ve 1050 °C'nin üzerinde daha fazla NO_x oluşabileceğinden, doğru sıcaklık aralığının sağlanması ayrıca önemlidir. Reaktifin baca gazında eşit olarak dağıldığından emin olmak da önemlidir. Doğru sıcaklığa ulaşmada, amonyak enjektörlerinin konumlandırılması kritik öneme sahiptir; ancak doğru sıcaklığa sahip bölge erişilebilir olmayabilir veya çalışma koşullarıyla (örn. yükün değişmesi) değişiklik gösterebilir. Doğru sıcaklık bölgesinin yerindeki bu değişikliklere karşı, ilave amonyak enjektörleri sağlanabilir; ancak bu, sermaye maliyetini arttıracaktır ve erişilebilirliğe bağlı olacaktır. Düzgün dağılım, iyi bir kanal tasarımı ve gerekirse bölme plakaları veya diğer akış düzeltme araçlarının kullanılmasıyla sağlanabilir.

Teknik, SCR ile aynı potansiyel işletim sorunlarından bazılarını paylaşır. Bunlar amonyak performansının azalması, N_2O oluşumu (üre ile daha fazla) ve amonyum bisülfat oluşumudur. Amonyum bisülfat oluşumu SCR'ye kıyasla daha yüksek olabilir, çünkü çalışma sıcaklığı dolayısıyla herhangi filtre ve yıkama sisteminin öncesinde enjeksiyon gereklidir. Katalizör yoktur, ancak amonyum bisülfat kekleşme sorunlarına neden olabilir.

Reaktif ve baca gazları arasında gerekli sıcaklık aralığında homojen bir karışım elde edilmesinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle, SNCR'nin rejeneratif tip fırınlara uygulaması çok sınırlıdır.

Elde edilen çevresel faydalar

Cam sanayiinin dışında bazı uygulamalarda % 80'in üzerinde rakamlar rapor edilmesine rağmen, SNCR ile bildirilen NO_x azaltımları genellikle % 40 – 70 aralığındadır.

Bunu etkileyen temel faktör, performansa bağlı faktörlerin ne derece optimize edilebilir olduğudur. Optimum koşulların elde edilebildiği iyi kontrol edilen bir süreçte % 50 – 75 oranında azalma mümkündür.

Ortamlar arası etkiler

Amonyak emisyonları önemli hususlardan biridir ve tekniğin verimliliğini sınırlayan bir faktör olabilir. Amonyak taşıma ve depolamaya ilişkin yasal gerekliliklere ek olarak, depolama işlemleri sırasında ve baca gazı akışına enjeksiyon öncesinde amonyak sızıntısını ve NH_3 kaçak emisyonlarına maruz kalmayı önlemek için güvenlik tedbirleri gereklidir. Bu güvenlik hususları finansal bir etkiye de sahiptir.

Elektrik için enerji tüketimi (basıncı hava, amonyak üretimi) ile ilişkili dolaylı emisyonların da hesaba katılması gerekir. SNCR uygulamasında azaltılan ton NO_x başına enerji kullanımı yaklaşık 1700 kW's iken, amonyak üretmek için gereken enerjinin 10 kW's/kg NH_3 olduğu tahmin edilmektedir. Elektrik üretiminden kaynaklanan dolaylı emisyonların (esas olarak CO_2) katkısı, cam fırınından kaynaklanan emisyonlara kıyasla çok küçüktür ve toplam emisyonların % 0,35'inin altındadır.

İşletim verileri

Nihai emisyon derişimi, başlangıçtaki NO_x değerine bağlı olacak ve bu nedenle en iyi sonuçlar, tekniğin birincil önlemler tedbirleri ile birleştirildiği durumlarda elde edilecektir. Ancak bu durumda, özellikle azaltılan her ton NO_x için toplam maliyetlerin ve ortamlar arası etkilerin hesaba katılması gerekecektir. Örneğin, 1100 mg/Nm³ değerindeki bir başlangıç derişimi, proses koşullarına bağlı olarak 275 – 770 mg/Nm³ aralığına indirilebilir. 4000 mg/m³ değerindeki yüksek bir başlangıç derişimi ise, 1000 ile 2800 mg/Nm³ aralığına düşürülebilir.

SNCR'nin cam ergitergitme fırınlarına uygulanmasıyla ilgili tipik işletimsel veriler aşağıda verilmiştir.

Amonyak çözeltisinin kullanıldığı SNCR için:

- amonyak kayması: <10 mg/Nm³
- amonyak kullanımı: tipik olarak, soda-kireç cam ambalaj üretimleri için 0,5 ila 1 kg NO_x/ton erimiş cam emisyon değerleri ile sonuçlanan %50'lik bir giderme verimliliği varsayılarak, uzaklaştırılan her kg NO_x (NO₂ olarak hesaplanır) başına yaklaşık 0,75 kg NH₃ gerekir.

Ürenin kullanıldığı SNCR için:

- amonyak kayması: 3 mg/Nm³
- üre kullanımı: tipik olarak, uzaklaştırılan kg NO_x başına yaklaşık 1,4 kg üre (NO₂ olarak hesaplanır), 2,6 kg/ton cam emisyon değerleriyle sonuçlanan (özel cam, harmanda nitrat içeren TV ekranları) %40'a varan giderme verimliliği varsayılarak

SNCR tekniğinin uygulanmasıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.25'de gösterilmektedir.

Tablo 4.25: SNCR tekniğinin temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u> • Doğru koşullar altında iyi bir NO_x azaltma verimi elde edilebilir • Bazı alternatiflere kıyasla düşük sermaye maliyeti • Katalizör gerekmez • Düşük enerji gereksinimleri <u>Dezavantajlar:</u> • Doğru sıcaklık aralığında amonyak enjeksiyonu gereklidir, ancak bu bazı durumlarda zor olabilir veya uygun olmayabilir (özellikle rejeneratif fırınlar için) • Çalışma sıcaklığı aralığının dışında NH₃ veya NO_x emisyon artışları ortaya çıkabilir • Eşit şekilde karıştırma önemlidir ve zor olabilir • Amonyak tüketilir ve salınır; bu malzemenin depolanması ve taşınmasında çevresel ve güvenliğe dair sorunlar vardır • Rejeneratörün refrakter malzemesine verilebilecek olası hasarla ilgili endişeler

Uygulanabilirlik

Bu teknik, prensipte yeni ve mevcut tesisler de dâhil olmak üzere, tüm cam proseslerine uygulanabilir. SNCR'nin yatırım maliyetleri ve alan gereksiniminin SCR'ye göre daha az olması, bunu alanın sınırlı olduğu prosesler için daha cazip hale getirmektedir. Teknik ayrıca, gaz yıkama ve toz giderme ekipmanı olmadan da çalıştırılabilir. Doğru proses koşullarında, SNCR'nin mevcut tesislere uyarlanması SCR'ye göre daha kolaydır. Bununla birlikte, tekniğin cam sanayiindeki uygulanabilirliğini sınırlayan bazı faktörler de vardır. Bunlardan en önemlisi, reaktifin atık gaz sistemine, doğru sıcaklığın yeterli bir reaksiyon süresi boyunca korunabileceği bir noktada eklenebilir olup olmadığıdır. Bu, mevcut tesisler ve rejeneratif fırınlar için özellikle önemlidir.

Mevcut tesislerde, doğru sıcaklığın olduğu alana erişim zor olabilir veya bu alan gaz akışı dolayısıyla reaktifle iyi karışım elde etmenin zor olduğu bir konumda olabilir. Çoğu durumda bu sorunlar çözülebilir veya hafifletilebilir, ancak maliyet önemli ölçüde artabilir ve NO_x gideriminin verimliliğinden ödün verilmesi gerekebilir. Rejeneratif fırınlarda doğru sıcaklık aralığı genellikle rejeneratörlerde oluşur ve bu da amonyakın etkili bir şekilde enjekte edilmesini oldukça zorlaştırır. Bu sorun, ayrı rejeneratörler kullanılarak ve bağlantıya amonyak enjekte edilerek çözülebilir. Ayrı rejeneratörler, yeni bir tesis tasarımına dâhil edilebilir, ancak mevcut prosesler için rejeneratörlerin ayrılması beraberinde önemli maliyetler getirebilir ve yalnızca yenileme sırasında yapılabilir. Ayrı rejeneratörler kullanıldığında bile bölmeler arasındaki alevlerin tersine çevrilmesi nedeniyle döngüsel bir sıcaklık değişimi meydana gelmesi ve fırındaki ergitme hızı değişikliklerinden dolayı SNCR için sıcaklık aralığının korunması zordur.

Yukarıda belirtilen zorluklar göz önüne alındığında, genel olarak, tekniğin reküperatif fırınlarda uygulanması rejeneratif fırınlara göre daha kolaydır. Pratikte, SNCR'nin mevcut rejeneratif fırınlarda kullanılması pek olası değildir; maliyetler ve ilgili zorluklar, genellikle işletmecinin NO_x emisyonlarını azaltmak için alternatif bir yol tercih etmesine neden olacaktır. Daha küçük reküperatif fırınlarda SNCR maliyetleri oldukça yüksektir ve çoğu durumda, diğer daha maliyet etkin kontrol tedbirleri tercih edilecektir; ancak bu da arzulanan performans seviyesine bağlıdır.

Avrupa'da, yazının yazıldığı tarihte (2010), özel cam sektöründe SNCR tekniği uygulanmaktadır. Cam ambalaj sektöründeki (Almanya) ve düz cam sektöründeki (ABD) önceki uygulamalar artık faaliyette değildir.

Ekonomi

Farklı büyüklükteki fırınlarda SNCR uygulamaları ile ilgili tahmini maliyetler aşağıda raporlanmıştır; hesaplama, 450 ile 500 mg/Nm³ NO_x arasındaki olası ulaşılabilir emisyon seviyelerine dayanmaktadır.

Cam ambalaj üretimi

200 – 350 ton/gün kapasiteye sahip reküperatif fırınlar için tipik yatırım maliyetleri 680000 – 900000 EUR aralığındadır. İşletme maliyetleri 200 ton/gün kapasiteli reküperatif fırın için yılda 74000 Euro ve 350 ton/gün kapasiteli daha büyük bir fırın için yılda 97000 Euro olarak belirlenmiştir. Daha yüksek rakamlar daha küçük fırınlara (200 ton/gün) ilişkili olup, özgül maliyetler ton cam başına 1,9 – 2,3 Avro aralığındadır. 2,1 – 2,5 Avro aralığında olan giderilen kg NO_x başına maliyetler, SNCR işleminde amonyakın daha düşük dönüşüm verimliliği nedeniyle SCR uygulamalarına göre daha yüksektir.

Özel cam üretimi

Harman formülasyonunda nitrat kullanılan oksit-fuel fırınlara SNCR uygulaması için, özgül maliyetlerin ton başına 3 – 4 Avro aralığında ve azaltılan kg NO_x başına 1 Avro olduğu tahmin edilmektedir. Azaltılan ton NO_x başına nispeten düşük maliyet, oksit-yakıtla ateşlenen fırınların baca gazlarındaki yüksek başlangıç derişim seviyelerinden kaynaklanmaktadır.

Kesintisiz cam elyaf

Bu sektörde SNCR uygulamaları hakkında bilgi bulunmamaktadır. 100 ton/gün kapasiteli bir fırına potansiyel kurulum için maliyet tahmini, 600000 – 625000 Avro'luk bir sermaye yatırımı ve yıllık 65000 – 70000 Avro'luk işletme maliyetlerine işaret etmektedir. SNCR'nin kullanılması, özgül üretim maliyetlerini ton cam başına 4 – 4,25 Avro arasında artıracaktır.

SNCR maliyet verilerinin NO_x giderimi için diğer mevcut tekniklerle karşılaştırılması Bölüm 8.1.7'de verilmektedir.

Uygulamanın itici gücü

SCR uygulamasına göre daha düşük maliyetler ve daha az alan gereksinimi, bu tekniğin uygulanmasının itici güçleridir.

Örnek tesisler

- Schott Glas AG, Mainz, Almanya, uygulanan beş okside-ateşlemeli fırın (özel cam)
- Osram, Augsburg Almanya (özel cam, aydınlatma camı).

Referans literatür

[33, Beerkens 1999] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] [75, Germany-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [Lubitz G: Langzeiterfahrungen mit dem SNCR-DeNOx-Prozess an einer rekuperativ beheizten Behälterglaswanne - Vortrag v.d.Fachausschuss VI d. DGG (Umweltschutz) am 10. März 2004 in Würzburg].

4.4.3 Sülfür oksitler (SOX)

[89, EURIMA Önerileri 2007]

Kükürt oksitler (SO_x) terimi, kükürt dioksit (SO_2) ve SO_2 eşdeğeri cinsinden ifade edilen kükürt trioksiti (SO_3) kapsar. Kükürt dioksit, kükürdün cam sanayiinde açık ara en çok karşılaşılan oksididir ve aşağıda çoğunlukla bu tür ele alınmaktadır. Yaklaşık 200 °C'nin altında, SO_3 genellikle asit sisi veya buharı halindedir; bu nedenle, sülfürik asit (H_2SO_4) genel olarak, bir SO_3 yoğunlaşma ürününü temsil ettiğinden SO_x terimine dâhil olarak kabul edilir. Kükürt oksitlerin emisyonlarının iki en büyük kaynağı, yakıtlardaki kükürdün oksidasyonu ve harmandaki kükürt bileşiklerinin ayrışması/oksidasyonudur.

Kükürt bileşiklerinin camda tutulma oranı genellikle düşüktür (çoğu endüstriyel camda SO_3 olarak <% 0,35) ve genellikle fırına giren kükürdün çoğu SO_x olarak atmosfere salınır. Atık gaz akışındaki bir kısım SO_x diğer türlerle reaksiyona girerek sülfat oluşumuna sebep olacaktır; bunlar, yoğunlaşarak toz haline gelir.

Tozdaki sülfat miktarı cam türüne göre değişmekle birlikte, soda-kireç camları için çoğunluğu sodyum sülfat olmak üzere % 80 – 95 civarındadır. Bu konu, 4.4.1'de daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Elektrikli fırınlarda SO_2 emisyonları genellikle çok düşüktür ve yalnızca hammadde ayrışmasından kaynaklanır. Taş yünü kupol ocakları genel olarak bir indirgeyici atmosfere sahiptir; hammaddelerden ve yakıttan gelen kükürt çoğunlukla SO_x ve hidrojen sülfür (H_2S) olarak salınır. AB'deki tesislerde atık gazlar genellikle H_2S oksitleyerek SO_2 oluşturan bir son yakıcı sistemi ile arıtılmaktadır.

Bazı sektörlerde (örn.HTIW, fritler), kükürt oksitler (SO_x) yalnızca hammaddelerde bulunan safsızlıklarla ve dolaylı olarak toz azaltma sistemlerinden gelen filtre tozunun geri dönüşümüyle ilişkilidir [98, ANFFECC Frit Sektörünün Konumu 2005].

4.4.3.1 Yakıt seçimi

Açıklama

Yakıt olarak petrol kullanılan süreçlerde ana SO_x kaynağı, yakıttaki kükürdün yükseltgenmesidir. Harmandaki malzemelerden ortaya çıkan SO_x miktarı cam türüne bağlı olarak değişir, ancak genel olarak, fuel oil yakılan her durumda yakıt kaynaklı SO_x emisyonları Harmandaki hammaddelerden kaynaklanırlara ağır basar. SO_x emisyonlarını azaltmanın en açık yolu, yakıtın kükürt içeriğini azaltmaktır.

Elde edilen çevresel faydalar

Fuel oil kükürt içeriği, belirli koşullarda derogasyona izin vermekle birlikte %1'lik bir sınır belirleyen 1999/32/AK sayılı Konsey Direktifi tarafından düzenlenmektedir.

%1 kükürt ve < %0,3 kükürt içeriğine sahip iki çeşit fuel oil vardır. Doğal gaz esasen kükürt içermez. Aşağıdaki Tablo 4.26, SO_x giderimi için ikincil tedbirler uygulanmadan, fuel oil ve doğal gazlı soda-kireç cam fırınlarından kaynaklanan tipik SO_x emisyon aralıklarını göstermektedir. Rakamlar yalnızca gösterge niteliğindedir ve gerçek rakamlar önemli ölçüde farklılık gösterebilir (örn. 3.3.2.2'deki Tablo 3.15'e göz atın).

Tablo 4.26: Farklı yakıtlar için soda-kireç cam fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonlarının gösterge niteliğindeki aralıkları

Yakıt	SO _x (SO ₂ olarak) mg/Nm ³
Doğalgaz	300 - 1000
%1 kükürtlü fuel oil	1200 - 1800

Ortamlar arası etkiler

Sanayideki genel deneyim, doğal gaza geçişin % 25 – 40 kadar daha fazla NO_x emisyonlarına yol açtığı yönündedir, ancak artan deneyimle fark azalmaktadır. Bu konu, 4.4.2.1'de (yakıt seçimi) daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Doğal gaz kullanımı, fuel oil ile karşılaştırıldığında daha düşük özgül CO₂ emisyonları ile ilişkilidir; ancak, alevin daha düşük yayınlılığı/parlaklığı, farklı baca gazı hacmi ve ısı kapasitesi nedeniyle ton erimiş cam başına özgül enerji tüketimi artabilir.

Fuel oilin brülörlere verilmeden önce 110 – 120 °C'ye kadar ısıtılması gerekir, bu da ek enerji tüketimi veya geri kazanılan ısıнын kullanılmasını gerektirir.

Daha düşük kükürt içeriğine sahip yakıta geçiş, genellikle artan yakıt fiyatından dolayı artan maliyetlere sebep olur. Ancak, baca gazı kükürt giderme işleminden kaynaklanan filtre tozu fırına geri dönüştürülemezse, atık sahalarına gönderilmesi gereken daha düşük toz miktarları nedeniyle bir maliyet düşüşü beklenir.

İşletim verileri

Ek veri rapor edilmemiştir.

Uygulanabilirlik

Doğal gazın kullanımı sanayide oldukça yaygındır. Örneğin, hemen hemen tüm fosil yakıtlı cam yünü fırınları, kesintisiz cam elyaf fırınlarının çoğu, tüm cam frit fırınları ve cam ambalaj fırınlarının %50'sinden fazlası doğal gazla çalışmaktadır.

Gazla ateşlemeye geçiş için farklı brülörler, brülörler için gaz besleme sistemi ve brülör ve yakıt boşluklarında değişimler gerekir. Potansiyel cam kalitesi ve fırın ömrü sorunları nedeniyle, mevcut fırınların tamamen gazla ateşlemeye dönüştürülmesi her zaman mümkün değildir; bu durumlarda karışık ateşleme uygulanabilir. Her iki yakıt türünü de kullanmak üzere donatılan cam fırın sayısı giderek artmaktadır.

Bununla birlikte, yakıt seçiminde en büyük etkiye sahip olan faktör, gaz ve petrol arasındaki yakıt fiyatı farkıdır.

Ayrıca, AB Üye Devletlerinin farklı stratejileri ve enerji politikalarının yanı sıra doğal gaz ve fuel oilin coğrafi erişilebilirliği, yakıt seçimini etkileyebilir [157, Avrupa Komisyonu - Yeşil Kitap 2000].

Ekonomi

Yukarıda daha önce belirtildiği gibi, yakıt seçiminin ekonomik boyutu ülkeye özgüdür ve bazı yakıt türlerinin coğrafi erişilebilirliğine dair olası sorunlar nedeniyle, genel düzeyde bir maliyet değerlendirmesi yapmak anlamlı olmayacaktır.

Taş yünü üretiminde kullanılan sıcak havalı kupol ocakları kok ile ısıtılır. Sektör tarafından kullanılan kok kükürt içeriğindeki değişim oldukça düşüktür (%0,6 – 0,9) ve kaynağa bağlıdır. Kok ile ortaya çıkan SO₂, yüksek fırın cürufu ve çimento bağlı atığın kullanımına bağlı olarak, genellikle toplam emisyonun % 30 – 70'ini oluşturur. Tesisin konumu uygun bir kaynağa yakın olmadığı sürece, düşük kükürtlü kokun nakliyesi pahalı olabilir ve emisyonlardaki azalma muhtemelen maliyetle orantısız olacaktır. Sektörde, petrol koku gibi yüksek kükürtlü alternatifler kullanılmamaktadır ve çoğu durumda kokun kükürt içeriği ekonomik olarak uygulanabilir olduğu ölçüde azaltılmış olacaktır.

Uygulamanın itici gücü

Bölgeye özel çevre koşulları ve dolayısıyla SO_x emisyonları için katı sınır değerleri, düşük kükürtlü veya kükürtsüz yakıta geçiş için itici güç olabilir.

Örnek tesisler

Belirtilmemiş.

Referans literatür

[88, FEVE Önerisi Bl.4-NOX2007].

4.4.3.2 Harman formülasyonu

Açıklama

Geleneksel cam yapımında, Harmandaki hammaddelerden kaynaklanan SO_x emisyonlarının ana kaynağı sülfatlardır. Sülfatlar en yaygın kullanılan arıtıcı maddelerdir ve aynı zamanda oksitleyici madde olarak da önemlidirler. Sodyum sülfat açık ara en çok kullanılan sülfattır, ergitergitme ve afinyasyon sırasında ayrılarak, cama dâhil olan gaz halindeki SO₂, O₂ ve Na₂O bileşiklerinin oluşumuna yol açar. Potasyum ve kalsiyum sülfatları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğu cam fırınında, harmandaki sülfatların seviyeleri, cam tipine bağlı olarak değişen uygulanabilir asgari seviyelere indirilmiştir.

4.4.3'te zaten belirtildiği gibi, kükürt bileşiklerinin camda tutulması genellikle zayıftır ve üretilen camın türüne göre önemli ölçüde değişebilir. Bir fırının hava-yakıtla ateşlemeden oksit-yakıtla ateşlemeye dönüştürülmesi, cam eriyiğinin sülfat tutmasında bir azalmaya neden olabilir. Bu gibi durumlarda, ergitergitme işlemi için doğru miktarda inceltme ajanı sağlamak üzere harman değişimleri gerekebilir. Harmandaki sülfatların azaltılmasıyla ilgili konular 4.4.1.1'de, filtre/ESP tozunun geri dönüşümü ile ilgili konular 4.4.3.3'te ele alınmıştır. Arıtıcı ve oksitleyici maddelerle ilişkili tipik emisyonlar 200 – 800 mg/Nm₃ ve 0,2 – 1,8 kg/ton ergitilmiş cam aralıklarındadır.

Taş yünü üretiminde, SO₂ emisyonlarının asıl kaynakları (kok kömürüne ek olarak) harmanda yüksek fırın cürufu ve çimento bağlı briketlerin kullanılmasıdır. Cüruf, ağırlıkça % 0,6 - 1,5 oranında kükürt içerir ve bunun büyük bölümü H₂S ve SO₂ olarak salınır. Bir son yakıcı sisteminin kurulu olması halinde emisyonlar büyük ölçüde SO₂ oluşturmak üzere yükseltgenecektir. Düşük kükürt seviyelerine sahip yüksek fırın cürufu satın alma imkanı azdır, ve tesisler genellikle çevrelerinde ekonomik nakliye mesafeleri dahilinde bulunan çok sınırlı sayıda tedarikçi ile sınırlıdır.

Harmandaki cüruf miktarının oranı, cüruf yünü için %100'den birçok normal taş yününde sıfıra kadar büyük değişkenlik gösterir. Cüruf, kullanıldığı çoğu durumda, harmanın % 30'dan azını oluşturur (kok hariç). Kullanımının ürün açısından gerekli olduğu tek uygulama, tabancadan püskürtülen elyaflar ve tavan levhaları gibi uygulamalarda kullanılan beyaz elyaf üretimidir. Bu uygulamalar, sektörün toplam çıktısının yalnızca küçük bir yüzdesini temsil eder, ancak bazı tesisler yalnızca bu ürünleri ürettiyor olabilir.

Harmanda yaklaşık % 30 oranında cüruf kullanan bir tesis için azaltılmamış SO₂ emisyonları, cürufsuz harmana göre 2 - 3 kat daha yüksektir. Belgenin yazıldığı dönem için (2010), Avrupa'daki taş yünü fabrikalarının yaklaşık % 10'unun yüksek fırın cürufu kullandığı tahmin edilmektedir.

Cüruf kullanımının ortadan kaldırılmasının SO₂ emisyonları üzerindeki olumlu etkisi açıktır. Bununla birlikte, cüruf kullanımının, en başta mineral sektöründe olmak üzere, aşağıda özetlenen bir dizi avantajı da vardır.

- Cürufun bir kısmının yerine kireçtaşı kullanılması ile enerji kullanımı ve CO₂ emisyonları azalır. Enerji tüketimi ve CO₂ emisyonları, cüruf kullanıldığında bazalt-kireçtaşı yüklemesine göre tipik olarak % 5 – 15 daha düşüktür.
- Değiştirilen malzemeye bağlı olarak, yük daha az demir içerebilir, bu da gerekli boşaltım sıklığını azaltır ve verimi artırabilir. Üretimde daha az kesinti olur ve katı atık bir miktar azalır.
- Bazı durumlarda cüruf kullanımının eriyiğin elyaflaşma özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir; bu durum elyaflaşmamış yün üretimini azaltarak proses verimliliğini iyileştirebilir ve atık miktarlarını azaltabilir.
- Yüksek fırın cürufu, kullanılmadığı takdirde katı atık sahasına gönderilmesi daha muhtemel olan bir atık malzemedir. Ayrıca, doğal taşın yerini alır ve yeraltından çıkarılması gereken malzemelere olan talebi azaltır.
- Cüruf ayrıca genellikle yerini aldığı malzemelerden daha ucuzdur.

Elde edilen çevresel faydalar

Genel olarak, harman formülasyonunda kükürt içeren hammaddelerin minimizasyonu/optimizasyonu sadece SO_x emisyonları üzerinde değil, aynı zamanda toz oluşumu üzerinde de etkilidir. Filtre tozunun geri dönüşümü, bir dereceye kadar, arıtıcı/oksitleyici madde olarak harmana sülfat ilavesinin yerini alabilir ve böylece bu birincil hammaddelerin kullanımını azaltabilir.

Harmanda kullanılan sülfat miktarının optimize edilmesi, ilerleyen aşamalarda SO_x azaltma sistemi tarafından üretilen katı atık akışının azalmasıyla sonuçlanabilir.

Yukarıda açıklanan avantajların çoğunun, geri dönüştürülmüş proses atığının daha verimli bir şekilde kullanarak elde edilmesi mümkündür. Bazı durumlarda, cüruf kullanımının çevre kirliliğinin bütünü üzerindeki etkisinin tesise özgü olarak değerlendirilmesi uygun olabilir. Ancak genel, nitel bir değerlendirmede, cüruf kullanmanın avantajlarının, üretilen emisyonlardan daha önemli olması muhtemel görülmemektedir. Cüruf kullanımı ürünün rengi için gerekliyse, geri dönüştürülmüş tesis içi proses atıkları kullanılarak en aza indirilebilir. İkincil SO_x azaltma tedbirleri uygulanıyorsa, cüruf kullanımının çevresel dengesi değişebilir.

Ortamlar arası etkiler

Genel olarak, harman formülasyonundaki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi veya kontrolüyle ilişkili ortamlar arası etkiler yoktur. Bununla birlikte, kükürt miktarının aşırı azaltılması, son cam ürününde kalite sorunlarına yol açacaktır. Örneğin, ilgili ürünün kalitesinin korunmasında gerekli olan bazı koyu cam ambalaj renkleri kükürt içeren özel bir harman formülasyonu gerektirir (örn. şarap şişeleri).

Kükürt bileşiklerinin aynı arıtma etkisini sağlayan diğer malzemelerle ikamesi, alternatif malzemelerin daha yüksek ilişkili çevresel etkileri nedeniyle zor olabilir.

Filtre tozunun harman formülasyonuna geri dönüştürülmesi, esas olarak sülfatlardan oluştuğu için SO_x emisyonlarını artırabilir.

İşletim verileri

Ek veri rapor edilmemiştir.

Uygulanabilirlik

Rapor edilmemiştir.

Ekonomi

Rapor edilmemiştir.

Uygulamanın itici gücü

SO_x emisyonlarının başlangıç seviyelerinin en aza indirilmesiyle birlikte harman formülasyonu maliyetlerinin sınırlandırılması yönündeki çabalar, bu tekniğin uygulanması için itici güç olabilir.

Örnek tesisler

Belirtilmemiş.

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007] [30, Infomil 1998] [27, EURIMA 1998].

4.4.3.3 Kuru veya yarı kuru yıkama

Açıklama

Kuru ve yarı kuru yıkama aynı reaksiyon prensiplerine sahiptir. Reaktif malzeme (soğurucu) atık gaz akımına verilir ve burada dağılır. Bu malzeme SO_x türleri ile katı oluşturmak üzere reaksiyona girer; bu katının elektrostatik toz tutucu veya torbalı filtre sistemi ile atık gaz akışından uzaklaştırılması gerekir. SO_x gidermek için seçilen soğurucular, diğer asidik gazların, özellikle halojenürlerin (HCl ve HF) ve aynı zamanda bazı selenyum, borik asit vb. gibi uçucu bileşiklerin uzaklaştırılmasında da etkilidir. Bazı uygulamalarda, soğurucu doğrudan atık gaz kanalına enjekte edilir, ancak teknikler, bir reaksiyon kulesi (kuru işlem) veya reaksiyon odası (yarı kuru işlem) kullanıldığı takdirde çok daha etkili olur.

Kuru işlemde soğurucu, dispersiyona yardımcı olmak için hava eklenebilen kuru bir tozdur (genellikle Ca(OH)₂, NaHCO₃, veya Na₂(CO)₃). Yarı-kuru işlemde ise, emici (genellikle Na₂CO₃, CaO veya Ca(OH)₂) süspansiyon ya da çözelti olarak eklenir ve suyun buharlaşması gaz akışını soğutur. Diğer endüstriyel uygulamalarda, yukarıda açıklandığı gibi yarı-kuru proses genellikle yarı-ıslak adlandırılır; ancak bu belgede, cam sanayiinde kullanılan genel terim olduğu için 'yarı-kuru' terimi münhasıran kullanılmaktadır.

Cam sanayiinde, kuru işlem, yarı kuru işleme kıyasla daha yaygındır. Genel olarak, azaltma oranı, aşağıda açıklanan büyük ölçüde parametrelere bağlıdır.

- Yıkayıcı tipi-Yıkayıcının tasarımı, gaz fazı ile soğurucu madde arasındaki teması ve eldeki reaksiyon süresini etkileyebilir.
- Baca gazının bileşimi-Atık gaz kirleticilerinin reaktifliği çeşitli emiciler arasında farklılık gösterir ve farklı türler arasında, özellikle reaktanın asidik gazlara oranı nispeten düşükse, rekabet eden reaksiyonlar meydana gelir.
- Baca gazının sıcaklığı-İdeal sıcaklık, baca gazının çiğlenme noktasına mümkün olduğunca yakın (180 °C'nin altında) veya çok daha yüksek (yaklaşık 400 °C) olmalıdır. 180 – 350 °C sıcaklık aralığı sönmüş kireç tarafından kuru SO₂ soğurulması için uygun değildir. Bir SCR ünitesinin doğru çalışması için 350 °C'nin üzerinde baca gazı sıcaklıklarının da gerekli olduğu unutulmamalıdır (daha fazla ayrıntı için bkz. 4.4.2.7).
- Baca gazının nemi.
- Soğurma maddesi/asit gaz molar oranı-Normalde soğurucu oranı stokiyometrik üstü olmalıdır. Özgül soğurucu madde miktarı genellikle molar oran ile ifade edilir. Bu molar oran iki şekilde tanımlanabilir:
 - MR1 = soğurucunun azaltılan SO_x miktarına molar oranı
 - MR2 = soğurucunun SO_x girdi miktarına molar oranı
- Filtrasyon sistemi-Elektrostatik toz tutucular, kuru veya yarı kuru işlemlerde kullanılabilir, ancak torbalı filtrelerde atık gazların soğutulması gerekir. Cam sanayiinde en yaygın olarak kullanılan yıkama işlemi, soğurucu olarak Ca(OH)₂ kullanılan ESP ile birlikte kuru işlemdir. Bunun nedeni, atık gazda soğutma olmaksızın kolayca ulaşılabilen ve elektrostatik toz tutucunun çalışma aralığı içinde olan 400 °C'de Ca(OH)₂ ile nispeten iyi bir azaltma oranına ulaşılmasıdır. Ancak, torbalı filtre sistemlerinde reaktifin baca gazı akımına ısı eşanjöründen önce enjekte edilebileceğine dikkat edilmelidir. Bu da ESP'lerde olduğu gibi yaklaşık 350 – 400 °C'de reaksiyona izin verir. Reaksiyon sıcaklığı ideal olarak 400 °C civarında olmalıdır; pratikte ise, işletme kısıtlamaları

nedeniyle 300 – 350 °C aralığındaki sıcaklıklar daha yaygındır. Torbalı filtre sistemlerinin kullanıldığı yerlerde, sıcaklık 200 °C'nin altına düşürülmelidir. Soğutma, ısı eşanjörü veya soğutma havası ile sağlanabilir ve ayrıca yarı-kuru işlemden suyun buharlaşması ile desteklenir. Torbalı filtrelerin kullanılması, kumaş üzerinde, basınç düşüşünün artmasına neden olan ve normalde asit gazlarının soğurulmasını iyileştiren soğurma reaktifi birikmesinden kaynaklanan bir filtre keki oluşturur.

- Reaktif türü-Cam sanayiinde en çok kullanılan temizleme maddeleri şunlardır: hidratlı kireç (Ca(OH)_2), sodyum karbonat (Na_2CO_3), sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ve daha nadir olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve kireçtaşı (CaCO_3). Reaktifin kimyasal bileşimi, ortaya çıkan katı ürünlerin ergitme fırınına geri dönüşüm imkanının belirlenmesinde önemli bir faktördür. Reaktifin BET (m^2/gram) olarak ifade edilen özgül yüzey alanı, iyi bir reaksiyon hızının elde edilmesinde belirleyici bir faktördür. Reaktifler normalde 40 m^2/g 'ye kadar özgül yüzey alanına sahip ince toz halinde enjekte edilir.

Asit gazlarının 'kuru yıkaması' için ek bir seçenek, harmanın doğrudan ön ısıtmasıdır. Bu durumda harman bileşiminin alkali bileşenleri, soğurma maddesi işlevine sahiptir. Bu tekniğin kullanımı 4.8.5'te ele alınmaktadır.

Elde edilen çevresel faydalar

Kurulu SO_x yıkama sistemlerinin çoğu, verimli bir rejeneratif tip fırından elde edilen atık gaz sıcaklığı olan yaklaşık 300 – 400 °C sıcaklık aralığındaki kuru sönmüş kireçli yıkamayla çalışır. Bu sıcaklıklarda, genellikle iyi kalitede bir kuru kireç ve aşırı stokiometrik $\text{Ca(OH)}_2/\text{SO}_2$ oranı kullanılarak yaklaşık %30 – 40 oranında bir SO_x giderimi elde edilir. Reaktif miktarına bağlı olarak, sodyum bikarbonat veya bir sodyum karbonat çözeltisi kullanılarak yaklaşık %60 veya daha yüksek SO_x giderimi gibi daha iyi verimlilikler elde edilebilir. 200 °C civarındaki sıcaklıklarda ve nemli bir ortamda benzer veya daha iyi bir SO_x azaltım oranına ulaşılabilir. Bu, torbalı filtrelerle bağlantılı olarak suda çözünmüş bir emici enjekte edilmesiyle sağlanabilir. Ancak bu yarı kuru teknoloji, atık gazların sıcaklığını genellikle ikincil ısı geri kazanımı ile veya daha yüksek sıcaklık seviyelerinin gerekli olduğu (örneğin SCR veya kırık ön ısıtma) ilave işlemlerle uyumlu olmayan bir seviyeye düşürür. Böyle durumlarda, konvansiyonel (veya 'gerçek') yarı-kuru işlemin uygulanabilirliği de değerlendirilebilir; ancak cam sanayiinde bu tekniğe ilişkin deneyim oldukça azdır. Bu, kükürt giderme uygulamasından önce, tüm etkileri, yan etkileri, maliyetleri ve öncelikleri (örn. asitleştirme politikası, enerji politikası, atık politikası vb.) dikkate alan entegre bir analize ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır.

Stokiometrik kükürt soğurucu oranlarının yüksek olmasının, sonraki işlemlerin toz azaltma ekipmanı üzerinde artan bir yük anlamına geldiği unutulmamalıdır. Pratikte, soğurmadaki sınırlı iyileştirme, teknolojik gereksinime ve toz tutucu kapasite artışının ek maliyetlerine karşı dengelenmelidir.

Yıkama işlemi, farklı indirgeme oranları ile HCl ve HF gibi diğer gaz halindeki asit kirleticiler için de etkilidir. Reaktif türü ve işletim koşullarıyla ilişkili tipik giderme verimlilikleri, aşağıda sunulan "İşlemsel veriler" altında bildirilmektedir.

Bu teknikler, selenyum bileşikler ve HBO_2 ve H_3BO_3 gibi bor asidik türlerinin dâhil olduğu bir takım diğer kirleticilerin giderilmesinde etkilidir, ancak indirgeme seviyeleri hakkında çok sınırlı bilgi mevcuttur. Örnek olarak, NaHCO_3 kullanılan kuru yıkama sistemiyle donatılmış, bronz cam üreten bir düz cam fırını için elde edilen giderme verimliliği % 90'dır; selenyum bileşiklerinin girişteki 30 mg/Nm^3 derişim değerleri, çıkışta 3 mg/Nm^3 'e iner (katı + gaz halinde). Daha düşük düzeyde selenyum emisyonu (1 mg/Nm^3) elde etmek için alkali reaktif miktarı saatte 55'ten 120 kg 'a yükseltilmelidir, bu da ortamlar arası etki olarak bertaraf gerektiren katı atık oluşumuna sebep olur.

Ortamlar arası etkiler

Cam sanayiindeki bazı örneklerde, tekniklerin kurulumunun arkasındaki önemli gerekçelerden biri, toz azaltma ekipmanının korunması veya bazı durumlarda (örn. kesintisiz elyaf, fritler) florür

emisyonlarının giderilmesi olmuştur. Özel durumlarda, toz veya florür azaltma gerekmeseydi, bu tekniklerin kurulması yerine gaz ateşlemeye geçmek daha ekonomik olabilirdi.

Yıkama sistemlerinin kullanımı, elektrik enerjisinin kullanımını içerir. Özgül enerji tüketimi, torba filtreli 12 – 20 kW/ton erimiş cam ve elektrostatik çökticiler için 8 – 11 kW/ton erimiş cam civarındadır.

Teknikler önemli miktarda katı kalıntı oluşturur, ancak çoğu uygulamada bu malzeme fırına geri dönüştürülebilir. Özellikle yüksek seviyede kırık içeren petrolü fırınlarda problemlerle karşılaşılabilir. Soğurucu olarak sodyum karbonat kullanıldığında, ciddi miktarlarda sodyum karbonat gereksiniminden dolayı, soda kireç camlarında daha değerli bir hammadde yerine filtre tozu geri dönüştürülecektir. Ancak, sodyum karbonat ve sodyum bikarbonatın HCl karşısında yüksek indirgeme oranı, filtre tozunda önemli düzeyde NaCl varlığına sebep olacaktır, bu da harman bileşiminde tekrar fırına verildiğinde sorunlara yol açabilir. Fırında NaCl buharlaşması, fırın veya rejeneratörlerdeki silika/silikat refrakter malzemelerinin kimyasal hücumuna yol açar.

Genel olarak, belirli bir cam türü için, redoks durumunu ve camın rengini garanti etmek için eriyikteki gereken kükürt alımı sabittir. Bu nedenle, sülfat tozunun geri dönüşümü nicel bir sınırlama getirir.

Kırık kullanımı düşük seviyelerde ise, toplanan sülfat genellikle arıtma için gerekli olandan daha az olacaktır, ayrıca bazı özel durumlarda camın toplanan tozdan gelen kükürdü alma oranını (yani daha yüksek SO₃ yüzdesi) arttırmak da mümkün olabilir. Bu durumlarda, genel emisyonlar düşürülür ve sodyum sülfat tüketimi azaltılır. Toplanan sülfat harmanda gerekli olan sülfattan daha fazla ise, tesis dışında bertarafa giden bir katı atık akışı oluşturulur. Alternatif olarak, malzemenin tamamı gerekenden daha büyük miktarlarda geri dönüştürülürse; sistem, kükürt çıkış noktalarının yalnızca cam ve hava emisyonları olduğu, kapalı bir döngü haline gelir ve dinamik bir dengeye ulaşır. Yüksek kırık seviyelerinde arıtıcı sülfat maddesi ihtiyacı çok daha azdır; bu nedenle, tozun bir kısmı giderilmedikçe SO_x emisyonları artar ve SO_x gideriminin sağladığı genel faydalar büyük ölçüde azalır. Sorun en çok, kükürt çözünürlüğünün nispeten düşük olduğu indirgenmiş camlarda ve yüksek cam kırığı seviyeleri kullanıldığında belirgindir.

Pratikte, bu durum meydana gelirse, geri dönüştürülemeyen tozun bertarafına ilişkin maliyetlerin, daha düşük kükürtlü yakıtların (örn. düşük kükürtlü petrol veya doğal gaz) maliyetine kıyasla daha yüksek olması muhtemeldir.

Bu nedenle, birçok durumda işletmeci, bertaraf edilecek katı atıkların oluşumuna izin vermektense yakıt değişimini tercih edecektir. Fakat düşük kükürtlü yakıtlar (özellikle doğal gaz) ile diğer yakıtlar arasındaki yüksek fiyat farkı, bu tür bir seçeneği ekonomik açıdan caydırıcı hale getirebilir.

Soğurucu olarak kalsiyum hidrat kullanılıyorsa, çoğu cam bileşiminde geri dönüştürülebilecek kalsiyumun bir sınırı olacaktır. Normalde filtre tozunu telafi etmek için harman bileşiminde ayarlamalar yapılabilir, ancak yüksek kırık seviyelerine sahip harmanlarda bileşime müdahale etme imkanı sınırlıdır. Yüksek cam kırıklı harmanlarda, kalsiyum içeriği camda tolere edilebilecek miktardan fazla olabilir ve bu da katı atık oluşturur. Böyle bir durumda çözüm, soğurucu maddenin değiştirilmesi ve sodyum karbonata, bikarbonata veya farklı emici maddelerin bir karışımına geçiş olabilir.

Kırık geri dönüşüm oranlarının yüksek olduğu bölgelerde, sürekli olarak geri dönüştürülen camda çeşitli bileşiklerin seviyeleri biriktikçe sistem daha da kapalı bir döngü haline gelir. Bu, kükürt kadar metaller, florürler ve klorürler bakımından da bir problem olabilir. Filtre tozunda metallerin, özellikle kurşunun mevcudiyeti, cam kütlelerinde aşamalı birikmeye katkıda bulunabilir. Cam ambalajı özelinde, ortaya çıkan derişim değerleri istisnai durumlarda 94/62/AK sayılı Ambalajlama ve Ambalaj Atığı Direktifinde belirlenen, cama zaman aşımı bir derogasyonun tanındığı ağır metal eşığının yakınında olabilir.

Toplanan malzeme hacminin geri dönüşüm için sorun teşkil ettiği durumlarda, soğurucunun bir kısmını yeniden kullanmak için toplam hacmin azaltıldığı teknikler mevcuttur. Toplanan tozun tutarsız formülasyonu genellikle önemli bir sorun değildir. Bu tür sorunlar, dikkatli bir analizle ve gerekirse geri dönüşümden önce malzemenin stoklanması ve karıştırılmasıyla aşılabılır.

Taş yünü üretiminde SO_x giderimi, gaz yakma fırınından sonra ve filtre sisteminden önce yapılmalıdır. Çoğu uygulamada filtre sistemi, temiz gazı arıtmak için tasarlanmış yakma fırınından önce konumlandırılır. Böyle durumlarda tekniğin mevcut tesislere kurulması, gaz yakma fırını ve ek bir filtre sistemi gerektirecektir. Yatırım boyutunun 4 – 5 milyon Avro aralığında olması beklenmektedir.

Yarı kuru işlem bu sektörde ekonomik açıdan uygun bir teknik olarak kanıtlanmamıştır.

Malzemenin fırına geri dönüşümü diğer sektörlerde göre taş yününde daha zordur, çünkü proses sülfat ilavesini gerektirmez ve eriyiğin kükürt alımı düşüktür. Bu nedenle, kirleticinin yoğunluğu yeniden salınacaktır. Filtre tozunun taş yünü kupol fırınına geri dönüştürülmesi, bir briketleme sisteminin kullanılmasını gerektirir. Böyle bir sistem mevcut olmadığında, SO_x giderimi ile ilişkili önemli bir katı atık akışı üretilecektir. Bu, toplanan atığın katı atık olarak bertaraf edilmesi veya mümkünse değerlendirilmesi gerektiği anlamına gelir. Baca gazı kükürt giderme sisteminden kaynaklanan atığın depolaması giderek zorlaşmaktadır ve özütlemekten kaçınmak için ön arıtma gerektirebilir. Bu ortamlar arası etki, genellikle asit gazı emisyonlarını azaltmanın çevresel faydalarına ağır basar (8.2'deki tipik kükürt dengesi örneğine göz atın).

Taş yünü için de soğurucu seçimi geri dönüşüm yönünden sınırlıdır. Ürün çok düşük soda seviyeleri gerektirdiğinden, sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat yalnızca toplanan malzeme geri dönüştürülmeyecekse kullanılabilir.

Bir venturi yıkayıcı sisteminin kullanılması, taş yünü üretiminde kuru veya yarı kuru yıkamaya bir alternatif olabilir. İyi SO_x giderme verimleri (% 90 - 95) elde edilebilir, ancak teknik, toz azaltma için torbalı filtre kadar etkili değildir. Aynı zamanda sulu bir atık oluşur ve bu malzemenin geri dönüşümü zordur. Az sayıda tesis, bu tekniği 20 yılı aşkın süredir başarıyla uygulamaktadır.

İşletim verileri

Yukarıda bahsedildiği gibi, bu tekniklerle elde edilen azaltımlar; atık gaz sıcaklığı, eklenen soğurucu madde miktarı ve türü (veya daha doğru olarak reaktan ve kirleticilerin molar oranı) ve soğurucunun dispersiyonu gibi bazı faktörlere bağlıdır. Aşağıdaki tablolar, çeşitli soğurucular ve işlemlerle elde edilen verimliliklere dair bir tahmin sağlar. Elde edilen gerçek sonuçlar durumdan duruma değişecektir; hem daha yüksek hem de daha düşük sonuçlar deneyimlenmiştir.

Tablo 4.27'de, gaz halindeki kirleticilerin uzaklaştırılması için gösterge niteliğindeki kuru soğurma etkinlikleri sunulmaktadır. Torbalı filtrelerdeki kekin içinde meydana gelen farklı emme oranları ve ESP ve torbalı filtrelerin farklı çalışma sıcaklıkları nedeniyle, bu iki tip filtre için ayrı veriler sağlanmıştır.

Tablo 4.27: Gösterge niteliğinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kuru soğurma verimlilikleri

Kirlenici	ESP		Torbalı filtre
	~ 400°C	200 - 280°C	130 - 240°C
SO_2	% 50	% 10	% 10
SO_3	% 80	% 90	% 95
HCl	% 70	% 35	% 80
HF	% 95	% 95	% 95
SeO_2	% 90	% 70	% 90

Daha genel olarak referanslar, Tablo 4.28'de bildirilen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kuru işlem için gösterge niteliğindeki sonuçları verir.

Tablo 4.28: $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile kuru yıkama için gösterge niteliğindeki SO_x azaltma oranları

Sıcaklık	SO_x azaltma oranı	
	130 - 140 °C	170 - 180 °C
Molar oran $\text{Ca}/\text{S} = 1$	% 30	% 22
Molar oran $\text{Ca}/\text{S} = 2$	% 50	% 40
Molar oran $\text{Ca}/\text{S} = 3$	% 70	% 55

Kuru yıkama tekniğiyle birlikte, molar oranı MO1 4,4 olan bir ESP ve yaklaşık 400°C'de 180 kg/s'lik $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kullanılan bir yüzdürme cam fırınında, %65'lik bir azaltma oranı bildirilmiştir. Tüm tozlar fırına geri dönüştürülür.

Soğurucu olarak Na_2CO_3 kullanılan kuru işleme dair deneyimler, 300 - 400 °C'lik sıcaklık aralığı için aşağıdaki Tablo 4.29'da özetlenmiştir. Verilen azaltma oranı aralıkları yine gösterge niteliğinde ve büyük ölçüde sıcaklık ile kullanılan soğurucu maddenin miktarına bağlıdır.

Tablo 4.29: Na_2CO_3 ile kuru yıkama için gösterge niteliğindeki SO_x azaltma oranları

Kirlenici	SO_x azaltma oranı
SO_2	<% 50
SO_3	% 90
HCl	% 50 - 75
HF	% 10 - 40
SeO_2	% 30 - 60

Soğurucu olarak NaHCO_3 ile elde edilen deneyimlerin sonuçları, özellikle düşük sıcaklık aralığı için, % 90'a kadar SO_x gideriminin mümkün olduğu, oldukça iyi SO_x soğurma oranlarına işaret etmektedir.

Yukarıda da açıklandığı gibi, bir ergitme fırınından salınan asit gazlarının azaltma verimliliği üzerinde etkili olan birkaç parametre vardır. Gerçek giderme oranları, gösterge verilerden farklı olabilir.

Farklı alkali reaktif türleri ve çeşitli işletim koşulları için saha ölçümlerinde gözlemlenen giderme verimlerinin bir karşılaştırması Tablo 4.30'da verilmektedir.

Tablo 4.30: Farklı soğurma reaktifleri ve işletim koşulları ile kuru yıkamada asit gazlı kirleticilerin gerçek giderme verimleri

Reaktif	Kirlilik giderme sisteminin türü	Atık gaz sıcaklığı	Stokiyometrik oran	Giderme verimliliği ⁽¹⁾		
		°C	Reaktif/SO ₂	SO _x (%)	HCl (%)	HF (%)
Sönmüş kireç						
Ca(OH) ₂ özgül yüzey alanı 14 m ² /g	ESP + kuru yıkama ⁽²⁾	335	0,5	17	<5	62
			0,65	22	56	70
			2	37	95	97
Ca(OH) ₂ özgül yüzey alanı 34 m ² /g	ESP + kuru yıkama ⁽²⁾	335	0,5	26	56	72
			0,7	34	65	81
			1	40	78	89
			1.7	43	95	97
Sodyum hidrojen karbonat						
NaHCO ₃	ESP + kuru yıkama ⁽²⁾	342	0,2	7	24	<5
			0,45	24	28	<5
			2	56	51	17
NaHCO ₃	Torba filtre + kuru yıkama ⁽³⁾	200	0,3	32	76	28
			0,4	44	83	39
			0,5	45	93	63

⁽¹⁾ Veriler, her işletim koşulu için üç yarım saatlik ölçümün ortalama değerlerini referans alır.

⁽²⁾ İki adet petrole çalışan fırın içeren cam ambalaj kurulumu.

⁽³⁾ Bir adet gazla çalışan fırın içeren cam ambalaj kurulumu.

Kaynak: [84, İtalya-Rapor 2007]

Yarı kuru proses, cam sanayiinde sınırlı sayıda uygulamada kullanılmaktadır. Torbalı filtre ile birlikte soğurucu olarak Na₂CO₃ kullanılması ile, çok yüksek azaltma oranları bildirilmiştir. Bu gösterge niteliğindeki sonuçlar aşağıdaki Tablo 4.31'de özetlenmiştir. SO₂ giderimi için mümkün olan azami yüzdelik değer %95'tir. Mevcut endüstriyel işletimde, elde edilen azaltma genellikle % 80 - 90 aralığındadır.

Tablo 4.31: Na₂CO₃ solüsyonu ile yarı kuru yıkama için gösterge niteliğindeki SO_x azaltma oranları

Kirletici	SO _x azaltma oranı
SO ₂	% 90 - 95
HCl	>% 90
HF	>% 85
SeO ₂	>% 90

Daha genel olarak, diğer endüstriyel uygulamalarda, referanslar, Ca(OH)₂ ile gerçekleştirilen yarı-kuru proses için aşağıdaki Tablo 4.32'de gösterilen sonuçları verir. Ancak, kirecin kullanıldığı yarı kuru uygulamalar cam sanayiinde yaygın değildir.

Tablo 4.32: Ca(OH)₂ ile yarı kuru yıkama için SO_x azaltma oranları

Molar oran	SO _x azaltma oranı
Ca/S =1	% 80
Ca/S =1,5	% 90
Ca/S =2	% 92
Kaynak: [49, ADEME 1999]	

Yarı kuru işlemden Na_2CO_3 veya NaHCO_3 kullanımının NO_x emisyonları üzerindeki etkisi de raporlanmıştır. NaHCO_3 için optimum aralık 120 – 160 °C arasındadır. Ancak cam sanayiindeki normal referans koşullar altında, NO_x azaltma oranı üzerinde yalnızca orta düzeyde bir etki gözlemlenmiştir.

Özet olarak, elde edilen azaltma oranı, proses ve soğurucu ile ilgili bir dizi faktöre bağlıdır. Uygun koşullar altında, yüksek düzeyde azaltım oranları elde edilebilir; en iyi durumda bu değerin, SO_2 cinsinden ifade edilen SO_x için % 95'e vardığı görülmüştür. SO_3 azaltma oranı genellikle % 80'in üzerindedir.

Kesintisiz cam elyaf üretiminde, bor içeren harman formülasyonları için, yukarıda belirtilen azaltma oranlarının elde edilmesi, cam eriyiğinden buharlaşan bor bileşiklerinin kuru alkali reaktifin yüzeyinde birikmesi ve ardından deaktivasyonu nedeniyle özellikle zordur. Bu durumlarda, yıkama aşamasının temizleme verimliliği önemli ölçüde azalabilir.

Gerçek emisyon derişimi veya ton cam başına emisyon oranı, giriş derişimi ve kükürt giderme verimliliğine bağlı olacaktır. Söz konusu giriş derişimleri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- yakıttaki kükürt girdisi
- cam türü (renk, oksidasyon durumu ve kükürt tutma/camdaki içeriği)
- sülfatların arıtımı, kalitesi ve miktarına ilişkin teknolojik gereklilikler
- kırık miktarı ve türü (tesis içi veya dış kırık, kükürt ve kirletici içeriği).
- filtre tozu bileşimi ve geri dönüşüm oranı
- yanma koşulları (birincil tedbirlerle NO_x giderimi için stokiyometrik yanmaya yakın koşullar atık ham gazdaki SO_2 içeriğini artırabilir).

Bununla birlikte, genel emisyon giderimi, üretilen sülfatlı tozun katı atık akışının ortadan kaldırılmasını (tesis içi veya dışı geri dönüşüm veya katı atık sahasına bertaraf ile) gerektirir. Katı atık sahasına bertaraf durumunda, SO_x azaltma maliyeti duruma bağlı olarak çıkarılan her kg SO_2 başına 0,5 ile 1,2 Avro arasında tahmin edilebilir [76, TNO SO_2 2007].

Pratikte, teknik olarak mümkün olduğu durumlarda bu sülfatlanmış atık da dâhil olmak üzere filtre tozunun tamamen geri dönüştürülmesi, genellikle mantıklı bir çevresel ve ekonomik seçenek olarak kabul edilir. Bu durumda, SO_x emisyonlarının genel giderimi, hammaddelerdeki sülfatın filtre tozuyla ikame edilmesi ile gerçekleştirilen, kaynaktan azaltım yöntemi ile sınırlıdır (kütle dengesine ilişkin hususlar nedeniyle). Bu tabii ki, uygulanabildiği her yerde, tüm besleme malzemelerindeki (kırık dahil) kükürt seviyelerinin optimizasyonu yoluyla eriyiğin toplam kükürt girdisini azaltmaya yönelik diğer uygun birincil tedbirlere ilave olarak yapılır.

Dolayısıyla, asit gazı emisyonlarını azaltmak amacıyla, toplanan materyalin bir kısmı için bir dış bertaraf yönteminin değerlendirilmesi gerekli olabilir. Geri dönüşüm veya yeniden kullanım için harici bir seçenek, katı atık sahasına tercih edilebilir. Bununla birlikte, çoğu durumda, malzeme için ekonomik olarak uygun bir harici yeniden kullanım seçeneği yoktur. Bu tür malzemeleri atık olarak tanımlayan mevcut yasal gereklilikler, harici geri dönüşüme ek engeller teşkil edebilir. Bir bütün olarak çevreyi en iyi koruyan seçeneğin belirlenmesi, çoğunlukla tesise özgü olacaktır ve bu doğrultuda katı atık akışının bertarafı değerlendirilebilir.

Kapalı devre filtre tozu geri dönüşümünün kullanıldığı doğal gazla çalışan fırınlar için bu yazının yazıldığı tarihte (2010) gözlemlenen SO_x emisyon seviyeleri, düşük cam kırığı geri dönüşüm oranıyla üretilen camlar için genellikle 200 – 800 mg/ Nm_3 , ve yüksek seviyede dış cam kırığı kullanılan en yaygın cam ambalaj üretimi için 600 – 900 mg/ Nm_3 aralığındadır. Yukarıda belirtilen faktörlere bağlı olarak %1 kükürtlü bir fuel oil ile 600 – 800 mg/ Nm_3 aralığında emisyonlar elde edilebilir. Özellikle harman formülasyonunda yüksek kırık geri dönüşüm yüzdesine ve düşük sülfür alım kapasitesine (örn. bazı yeşil ve kahverengi ambalaj camları gibi indirgenmiş camlar) sahip camlar için, aralığın daha yüksek ucundaki değerler beklenmektedir.

Cam sanayiinde, kükürt içeren tozun tamamen geri dönüştürüldüğü durumlarda net kükürt giderme veriminin sıfıra yakın olduğu örnekler vardır. Ancak bu durumlarda asıl amaç kükürt giderme değil, HCl, HF, metaller ve tozun uzaklaştırılmasıdır. Bununla birlikte, bu durumlarda dahi daha düşük seviyeler elde etmek mümkündür; bu harici bertaraf için sülfatlanmış bir atık akışının oluşturulmasıyla sonuçlanır.

Bu nedenle, cam sanayiinde kükürt giderme değerlendirilirken, çıkışabilecek etkilerin ve diğer çevresel hedeflerin riske atılıp atılmadığının hesaba katılması önemlidir. SO₂ giderimine ilişkin en önemli çevresel hedefler şunlardır:

- yüksek kırık geri dönüşüm oranları
- tesis içi veya harici toz geri dönüşümü yoluyla atık üretiminin en aza indirilmesi
- atık ısının geri kazanımı
- diğer atmosferik emisyonların giderimi

Cam kırıklarının geri dönüşümü; enerji tasarrufu, atıkların azaltılması ve daha az doğal kaynak tüketimi nedeniyle önemli bir çevresel hedeftir.

94/62/AK sayılı Avrupa Direktifinin cam dâhil olmak üzere ambalaj atıklarının geri dönüşümü için belirlediği hedefler doğrultusunda çoğu Avrupa Üye Devleti piyasaya sürülen cam ambalajların yaklaşık %60 – 70'ini geri dönüştürmektedir. Örneğin, Almanya'da cam ambalaj fırınları için yasal kırık geri dönüşümü kotası yıllık ortalama değer olarak % 75'dir ve sık sık bu kotanın üzerine çıkmaktadır. Üretilmekte olan camdan daha yüksek kükürt içeriğine sahip kırık kullanıldığında, SO_x emisyonları artabilir. Bu, örneğin karışık tüketim sonrası kırığının kullanıldığı yeşil ve kahverengi indirgenmiş camlarda karşılaşılan bir durumdur. Karışık tüketim sonrası cam kırıkları, bazı durumlarda üreticiler için tek erişilebilir kırık kaynağıdır ve kırık karışımı içindeki oksitlenmiş cam (kristal cam, düz cam, bazı yeşil camlar) nedeniyle kükürt içeriği ürününkinden daha yüksektir. Seçici kırıntı toplama ve ayırmada aşamalı olarak ilerleme kaydedildikçe, durumda iyileşme görülecektir. Bununla birlikte, bazı yeşil camlar gibi oksitlenmiş renkli camlar, oksidasyon durumlarından dolayı daha yüksek seviyede kükürt içerebilir ve büyük bir kısmı bu tür camlardan oluşuyorsa, renk sınıflandırması kırığın kükürt içeriğini azaltmada daha az etkili olacaktır.

Filtre tozunun geri dönüşümü de atık önleme amaçları doğrultusunda önemli bir hedeftir. Filtre tozunun geri dönüşümü, harman malzemesindeki kükürdün bir kısmının ikamesi anlamına gelir. Prensipite arındırıcı madde görevi gören filtre tozunun bazı durumlarda etkisi daha az olabilir ve % 100 ikamesi her zaman mümkün olmayabilir. Farklı cam türlerine (örn. renk, oksidasyon durumu) bağlı olarak, filtre tozundaki kükürtten kaynaklanan sülfat soğurulması farklılık gösterir ve bazen sınırlı ölçüdedir. Tam filtre tozu geri dönüşümü bakımından ve yukarıda bahsedilen varyasyonlar dikkate alındığında, kükürt kütle dengesine özellikle dikkat edilmeli ve yıkama ekipmanı, uygun yıkama maddelerinin seçimi göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Filtre tozunun geri dönüştürülmesi, özellikle harmanın ön ısıtması uygulandığında, harman yükleme sırasında ince toz taşınmasının artmasına neden olabilir.

Kuru ve yarı kuru yıkama tekniği kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.33'da sunulmaktadır.

Tablo 4.33: Kuru ve yarı kuru yıkamanın temel avantajları ve dezavantajları

Avantajlar:
• SO_x emisyonlarında önemli azalmalar elde edilebilir (spesifik sülfür dengesi ve geri dönüşüme bağlı olarak) • Diğer maddelerin (klorürler, florürler, selenyum bileşikler, diğer asitler, örneğin borik asit) emisyonları azalır • Çoğu cam ergitme tesisinde, toplanan toz geri dönüştürülebilir ve hammadde tüketimini azaltır. Taş yünü gibi bazı üretimler için bu durum geçerli değildir.
Dezavantajlar
• Teknik enerji tüketir • Kükürt girdi-çıkışındaki dengesizlik, klorür birikimi veya cam kalitesi sorunları nedeniyle her zaman geri dönüştürülemeyen (özellikle yüksek soğurma verimliliklerinde) katı bir kalıntının oluşmasına ve dolayısıyla atık seviyelerinin artmasına neden olabilir. Bu kalıntı çoğu durumda geri dönüştürülebilir, ancak işlemlerde ayarlamalar gerektirir ve genel SO_x azaltma verimliliğini sınırlayabilir. Bazı cam üretimi türleri için katı kalıntı tamamen veya kısmen atık sahasına bırakılır. Taş yünü için, bir briketleme sistemi kullanılmadığı sürece bu tozun süreçte geri dönüştürülmesi mümkün değildir • Çoğu durumda bu atık tehlikeli olarak kabul edilir (kimyasal bileşime bağlı olarak) ve katı atık sahalarının bulunmadığı yerlerden, atıkların uzun mesafeler boyunca diğer ülkelere (örneğin Almanya'daki tuz madenlerine) taşınması gerekir. • Önemli sermaye ve işletme maliyetleri getirir

Bir filtre sistemi ile birlikte uygulanan kuru yıkama aşamasının ilgili ulaşılabilir emisyon seviyelerini bildiren örnek kurulum verileri, ana işletim parametreleriyle birlikte 4.4.1.2'deki Tablo 4.8 ve aşağıdaki Tablo 4.34'te sunulmaktadır.

Tablo 4.34: Örnek kurulumlarda bir filtreleme sistemiyle birlikte kuru yıkama kullanımıyla ilişkili emisyon seviyeleri

	Cam ambalaj⁽¹⁾	Düz cam^{(2) (3)}
Fırın tipi	Arkadan ateşlemeli, rejeneratif	Yüzdürme, yandan ateşlemeli, rejeneratif
Yakıt	Doğalgaz + fuel oil	Doğalgaz
Fırın kapasitesi	300 ton/gün	600 ton/gün
Gerçek ergitme hızı	297 ton/gün	600 ton/gün
Elektrikle destekleme	Evet	Evet
Cam türü	Bal rengi	Açık
Kırık	% 72	% 25
Özgül enerji tüketimi	4,21 GJ/t cam	Belirtilmemiş
Filtre sistemi	ESP - 2 alan	ESP - 2 alan
Filtreden önceki sıcaklık	400 °C	Belirtilmemiş
Emici türü	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Emici miktarı	28 kg/saat	Belirtilmemiş
Harman formülasyonunda filtre tozunun yeniden kullanımı	% 100	Bertaraf Yok
İlişkili emisyon seviyeleri (İES'ler)	Yarım saatlik ortalama değerler	Yarım saatlik ortalama değerler
mg/Nm ³ , % 8 O ₂ içeren kuru gaz	Toz: 1,2 SO _x : 829 HCl: 25,0 HF: 3,3	Toz: <20 SO _x : <300 HCl: <15 HF: <1
kg/t cam	Toz: 0,0019 SO _x : 1,34 HCl: 0,0405 HF: 0,0053	Toz: <0,05 SO _x : <0,75 HCl: <0,04 HF: <0,003

(1) Kurulum, ESP'den sonra bir ısı geri kazanım sistemi ile donatılmıştır.
(2) Gaz halindeki kirleticiler için giderme verimleri: SO_x için %36, HCl için %57 ve HF için %83.
(3) Verilen kg/ton cinsinden değerler, düz cam için 2,5 x 10⁻³ dönüştürme faktörü uygulanarak hesaplanmıştır (bkz. Tablo 5.2).
Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [84, İtalya-Rapor 2007]

Uygulanabilirlik

Prensip olarak, bu teknikler asidik maddeler içeren atık gazların olduğu tüm işlemlere (yeni ve mevcut olanlar dahil) uygulanabilir. Yüksek toz yüklemesi nedeniyle tozun giderilmesi esastır. Kuru işlem, cam sanayiinde çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü mevcut teknik ve düzenleyici gereklilikleri yerine getirmenin en maliyet etkin yolu olmuştur. En yaygın olarak kullanılan emici Ca(OH)_2 , yani sönmüş kireçtir.

Bu teknikler, tesisin boyutundan bağımsız olarak ortak prensiplere sahiptir. Ancak, ölçeğin ve dolayısıyla gerçek maliyetin ve muhtemelen maliyet etkinliğinin, uygulamadan uygulamaya önemli ölçüde değişeceği unutulmamalıdır. Özellikle, daha küçük işlemler için yarı kuru yıkama ile ilgili deneyimler sınırlıdır.

Ekonomi

Yıkayıcı sistemlerinin ESP'ler ve torba filtreler ile birlikte maliyetleri 4.4.1.2 ve 4.4.1.3'te verilmiştir. Sodyum bikarbonat, diğer emicilerden önemli ölçüde daha pahalıdır ve daha az kullanılmaktadır.

Tipik kuruyıkama uygulamaları için tahmini maliyetlerin bir özeti aşağıda verilmiştir. Sunulan veriler, Bölüm 8.1'de açıklanan metodolojiye dayanmaktadır. [94, Beerkens – APC Değerlendirmesi 2008].

Düz cam üretimi

- Yüzdürme cam fırınlarında uygulanan kuru yıkama sistemleri için tipik yatırım maliyetleri, filtre tozunun giderilmesi ve depolanması dâhil olmak üzere 250000 – 500000 Avro aralığındadır.
- ESP artı kuru temizlemeden oluşan tamamlanmış bir sistemin maliyetleri, 500 ton/gün fırın kapasitesi için yaklaşık 3.5 – 4 milyon Avro ve 900 ton/gün kapasiteli daha büyük bir fırın için 5.5 milyon Avro'ya kadardır.
- Torbalı filtre ile birleştirilmiş kuru temizleme sisteminin uygulanmasının tahmini yatırım maliyetleri 2 – 2,5 milyon Avro aralığındadır.
- İlgili özgül maliyetler, ESP uygulandığında ton cam başına 4 – 6,5 Avro ve torbalı filtre uygulandığında ton cam başına 4,5 – 7 Avro aralığındadır.

Cam ambalaj üretimi

- Kuru yıkama ile beraber ESP'nin yatırım maliyetleri, 300 ton/gün ile 600 ton/gün arasındaki fırın kapasiteleri için 1,5 ila 3 milyon Avro aralığındadır; 750 ton/gün üzerindeki daha büyük kurulumlar için maliyetler 4 milyon Avro'yu aşabilir (örneğin, bir filtreye bağlı iki veya daha fazla fırın).
- Orta büyüklükteki bir fırında (<300 ton/gün) kuru temizleme ile birlikte torbalı filtrenin uygulanması, 700000 ila 1,25 milyon Avro aralığında yatırım maliyetlerini içerir.
- İlgili özgül maliyetlerin, kurulumun ergitergitme kapasitesine bağlı olarak torbalı filtrelerin kullanımı ve tozun tümünden bertarafı ile ton erimiş cam başına 4 – 7 Avro aralığında ve elektrostatik toz tutucuların kullanımı ile ton erimiş cam başına 2,7 – 5,5 Avro aralığında olması beklenmektedir. Daha yüksek değerler daha küçük ve daha yeni kurulumlara karşılık gelirken, daha düşük seviyeler gazla çalışan fırınlar ve filtre tozunun tümünden geri dönüşümü ile ilişkilidir. Daha küçük fırınlar için (<150 ton/gün) ton erimiş cam başına 10 – 16 Avro aralığında daha yüksek özgül maliyetler beklenmektedir. Doğal gaz yerine fuel oil kullanımı, ton erimiş cam başına yaklaşık 1,5 Avro'luk ek bir maliyet artışına neden olabilir.

Diğer cam sektörleri

- Günde 40 tonun altında kapasiteye sahip küçük fırınlar için özgül maliyetlerin, torbalı filtrelerin kullanımı ile ton erimiş cam başına 10 – 14 Avro aralığında ve elektrostatik toz tutucuların kullanımı ile ton erimiş cam başına 15 ila 17 Avro arasında olması beklenmektedir.

Taş yünü üretimi

- 200 ton/gün kapasiteli bir taş yünü kupol fırını için, standart torbalı filtre tekniğine ek olarak kuru yıkama için sermaye maliyetlerinin 1,7 milyon Avro, işletme maliyetlerinin filtre tozunun bertarafı göz önüne alındığında 340000 Avro olduğu tahmin edilmektedir. Bu durumda, özgül maliyetlerin ton erimiş cam başına yaklaşık 9 Avro olduğu tahmin edilmektedir. [115, EURIMA-ENTEC Maliyet değerlendirmesi 2008].

Yarı kuru (neredeyse kuru) yıkama sistemleri kullanıldığında, tahmini ilgili maliyetler aşağıdaki gibidir:

Düz cam üretimi

1. Düz cam fırınlara torbalı filtre ile birlikte uygulanan yarı kuru yıkama sistemleri için tipik yatırım maliyetlerinin orta büyüklükteki bir fırın için 4,5 – 5 milyon Avro ve 900 ton/gün'e kadar kapasiteli büyük fırınlar için 7 milyon Avro'ya kadar olduğu tahmin edilmektedir.
2. Filtre tozu geri dönüşümüne sahip gazla çalışan bir yüzdürme fırını için özgül maliyetler, giderilen kg SO_x başına 0,75 Avro ve giderilen kg toz başına 15 – 22 Avro aralığına tekabül eden, ton cam başına 6 – 8 Avro aralığındadır. Yanma için fuel oil kullanıldığında, filtre tozunun bir kısmının bertaraf edilmesinin getirdiği fazladan maliyetler nedeniyle özgül maliyetler daha yüksektir (kuru yıkamadan yaklaşık % 50 – 100 daha yüksek) ve ton erimiş cam başına 10 – 14 Avro aralığında olması beklenmektedir.

Cam ambalaj üretimi

- 350 ton/gün kapasiteli bir fırında yarı kuru yıkama ile birlikte torbalı filtre uygulamasının yatırım maliyeti yaklaşık 2,25 milyon Avro'dur.
- İlgili özgül maliyetlerin, ton erimiş cam başına 5,5 – 6,5 Avro aralığında veya daha yüksek olması beklenmektedir.

Taş yünü üretimi

- 200 ton/gün kapasiteli bir taş yünü kupol fırını için, standart torbalı filtre azaltma tekniğine ek olarak yarı kuru yıkama için sermaye maliyetlerinin 2,1 milyon Avro, işletme maliyetlerinin filtre tozunun bertarafı göz önüne alındığında 250000 Avro olduğu tahmin edilmektedir. İlgili özgül maliyetlerin ton erimiş cam başına yaklaşık 9,5 Avro olduğu tahmin edilmektedir. [115, EURIMA-ENTEC Maliyet değerlendirmesi 2008].

Filtreleme sistemiyle birlikte yıkama aşamasının tahmini uygulama maliyetlerinin bir karşılaştırmasının yanı sıra, cam ergitme fırınlarının baca gazlarından bir takım gaz halindeki kirleticilerin (SO_x, HF, HCl, borik asitler ve selenyum bileşikleri) giderilmesine yönelik uygulanabilecek çeşitli yıkama yöntemlerinin performansları, avantajları, dezavantajları ve sınır koşulları 8.1.7'de sunulmaktadır.

Uygulamanın itici gücü

Genel olarak, uygulamanın temel itici gücü yasal emisyon limitlerine uyumdur.

Her zaman olmasa da çoğu durumda filtreyi korozyondan koruma gerekliliği, başta SO₂, HCl ve HF olmak üzere asit gazlı kirleticilerin emisyonlarını azaltma olanağıyla birlikte bu tekniklerin uygulamasının itici güçleridir. Metal emisyonlarını azaltma ihtiyacı (örneğin renksiz cam camdan veya bronz düz camdan selenyum emisyonu), baca gazında çoğunlukla gaz bileşikleri halinde mevcut olduklarında, bazı uygulamaların itici gücü olabilir.

Örnek tesisler

Bu tekniklerin, özellikle elektrostatik toz tutucu veya torbalı filtre ile kuru işlemin birlikte cam fırınlarında kullanıldığı birçok örnek mevcuttur. Avrupa'da ikincil toz azaltmanın uygulandığı fırınların büyük bölümünde bu teknikler kullanılır. Taş yünü üretim sektöründe çok az uygulama mevcuttur.

Referans literatür

[49, ADEME 1999] [42, VDI 1997] [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007] [76, TNO SO2 2007] [86, Avusturya cam ambalaj tesisleri 2007] [89, EURIMA Önerileri 2007] [94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008] [65, GEPVP-GLS revizyonu için öneriler 2007]

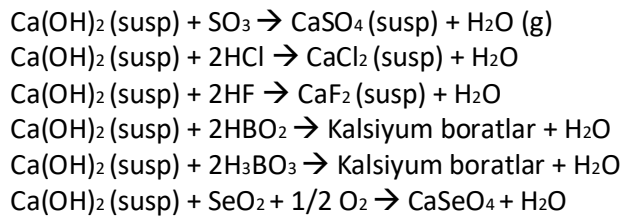
4.4.3.4 Yaş yıkayıcılar

Açıklama

Yaş yıkama işleminde, gaz türleri (HF, HCl, SO₃ ve SO₂ gibi) önce bu gazların seçilen sıvı içindeki çözünürlüğüne göre belirlenen bir sıvı içinde çözülür. Çözünürlük, kullanılan çözeltinin veya süspansiyonun alkaliliği ile artar. Gazların çözünme hızları, baca gazı ile sıvı faz arasında yakın bir temas sağlayan reaktif çözeltiler ve özel dolgu kuleler kullanılarak iyileştirilebilir. Genellikle sıvı, gazın çözünürlüğünü artıran sulu bir iyonik tür çözeltilisidir. Yüksek asitli gaz çözünme hızları elde etmek için çözeltilde çok az miktarda fazladan reaktana ihtiyaç vardır. Hız esas olarak gazın sıvı tarafından soğurulmasıyla belirlenir. Reaktörün tasarımı önemlidir, teması iyileştirmek için genellikle karşı akışım gaz/sıvı akışları uygulanır ve gaz akışlarında yüksek düzeyde türbülans korunur. Sodyum hidroksit veya sodyum karbonat çözeltileri genellikle yaş yıkama için kullanılır, ancak bazen süspansiyonlar veya kireçtaşı/kireç bulamaçları uygulanır.

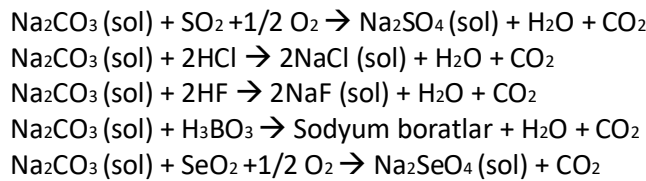
Yaş gaz yıkayıcının akış aşağı yönünde, baca gazları suyla doyurulur ve baca gazlarını boşaltmadan önce damlacıkların (soğurulmuş gazların ayrılması) ayrılması gerekir. Ayrılan sıvı, çözünmeyen partiküller, çözünmüş malzeme, reaksiyon ürünleri ve reaksiyona girmemiş alkali madde içerebilir. Ortaya çıkan sıvı, bir atık su işlemi ile arıtılmalı ve çözünmeyen madde, katı materyali veya çamuru derişik halde çıkarmak üzere çökeltme veya filtreleme yoluyla toplanmalıdır. Derişik çamur genellikle kurutulur veya bertaraf edilmeden önce suyun bir kısmı uzaklaştırılır. Çoğu durumda, çamurun bir cam harman bileşiminde hammadde olarak yeniden kullanılması çok zordur. Yaş yıkama sırasında meydana gelen tipik reaksiyonlar aşağıda bildirilmiştir.

- Sönmüş kireç süspansiyonu ile yıkama işlemi:



(susp = süspansiyon) (g = buhar/gaz).

- Sodyum karbonat çözeltisi ile yıkama işlemi:



(sol = çözelti).

Elde edilen çevresel faydalar

Kullanılan soğurma maddesinin miktarına bağlı olarak, yaş gaz yıkayıcılarla %90'dan fazla giderme verimliliği elde edilebilir. SO_2 , SO_3 , HF, HCl, H_3BO_3 , HBO_2 ve SeO_2 gibi gaz halindeki kirleticiler, cam ergitme fırınlarının baca gazlarından yaş gaz yıkayıcılar ile giderilebilir.

Ortamlar arası etkiler

Ana ortamlar arası etki, boşaltımdan önce arıtılması gereken atık su miktarıdır. Ek olarak, filtrasyon veya çökeltme ve ardından tortunun preslenmesi yoluyla çözünmeyen malzemenin atık sudan ayrılmasından, bir katı atık (filtre keki) veya çamur oluşur. Çamur, uygulanan sisteme bağlı olarak kuru veya yarı kuru olarak ayrılabilir. Çamurun veya filtre kekinin cam üretim harmanında doğrudan yeniden kullanımı genellikle mümkün değildir, ancak bu durum büyük ölçüde kimyasal bileşimine bağlıdır. Bazı durumlarda, filtre keki veya çamurunun cam harmanı formülasyonunda yeniden kullanılması veya geri dönüştürülmesi, bu bileşenlerin cam eriyiğindeki sınırlı çözünürlüğü, ve ıslak gaz yıkayıcıların bu bileşenleri baca gazlarından gidermedeki yüksek verimliliği nedeniyle cam fırınında klorürler, florürler veya kükürt gibi türlerin birikmesine yol açabilir. Ek olarak, çamurun veya filtre kekinin yeniden kullanımı, taşıma problemlerini de getirebilir.

Yaş gaz yıkayıcıların kullanımı, alkalın reaktifinin enjeksiyonunda, filtrenin temizlenmesinde, çamur/filtre kekinin pnömatik taşınmasında, yaş elektrostatik toz tutucuların durumunda elektrostatik alanda, ve fan çalıştırmada kullanılan elektrik nedeniyle enerji tüketimi gerektirir.

Yaş yıkama sistemleri için tipik enerji tüketimi yaklaşık 20 – 25 kW/ton cam'dır.

Elektrik kullanımıyla ilişkili dolaylı emisyonların, günde 100 – 125 ton erimiş cam kapasiteli bir kurulum için yaklaşık 550 – 660 ton CO_2 /yıl olduğu tahmin edilmektedir.

İşletim verileri

Cam sanayiinde kullanılan tipik işletim sıcaklığı 50 ile 80 °C arasındadır.

Çoğu durumda, uygulanan soğurma maddelerinin dönüşüm verimliliği çok yüksektir ve baca gazlarında bulunan göreceli SO_2 , HF, HCl, SO_3 , H_3BO_3 , HBO_2 ve SeO_2 miktarına göre reaktifin stokiometrik miktarı eklenir.

Bununla birlikte, gaz halindeki kirleticilerin yaş yıkama sistemleriyle elde edilen daha yüksek giderme verimliliği, filtrelerle birlikte kuru ve yarı kuru gaz yıkayıcı kullanımına kıyasla partikül emisyonlarının gideriminde önemli bir düşüşle dengelenebilir.

Uygulanabilirlik

Yaş yıkayıcılar, yüksek maliyetleri ve atık su arıtma yönleri nedeniyle cam sanayiinde sıklıkla kullanılmamaktadır. Atık su arıtma genellikle, reaksiyona girmemiş malzemeyi (örneğin kireç), reaksiyon ürünlerini ve suyu içeren çamur veya katı bir kalıntı üretir. Bu çamur her zaman cam üretimi için hammadde olarak kullanılamaz ve çamurdaki suyun çoğunun, atık malzemeyi taşımadan ve harici bir bertaraf sahasına boşaltmadan önce giderilmesi gerekir.

Mineral yün sektöründe, şekillendirme alanı ve kür fırınının gazlarının temizlenmesi için yaş gaz yıkayıcılar kullanılmaktadır. 4.5.6.1.2 ve 4.5.6.2.2 sayılı kısımlara bakınız.

Soğuk başlıklı elektrikli fırınların baca gazlarını arıtmak için yaş yıkama sistemi uygulamaları mevcuttur.

Az sayıda durumda, yaş gaz yıkayıcılar, atık gazlardan kalay, organotin bileşikler ve klorürleri gidermek üzere cam ambalaj endüstrisindeki sıcak kaplama tesislerinden çıkan baca gazlarını arıtmak için kullanılır. Bu işlem, 4.5.1'de açıklanan, sıcak kaplama işlemlerinden kaynaklanan emisyonları ergitme fırınından çıkan baca gazlarıyla birleştirmeye yönelik daha yaygın prosedüre ek olarak veya bunun yerine kullanılabilir. Bu durumda amaç, azaltma sistemine gönderilen gaz halindeki klorürlerin derişimini azaltmaktır (kuru yıkama artı filtre).

Ekonomi

8.1'de açıklanan metodolojiye dayalı olarak, cam ergitme fırınlarına yaş yıkama sistemlerinin uygulaması için bir maliyet tahmini yapılmıştır. Ana sonuçlar aşağıda verilmektedir.

- 10000 – 15000 Nm³/s'lik bir baca gazı hacmi için yaş yıkama sistemlerinin uygulanmasına yönelik yatırım maliyetleri yaklaşık 2 – 3 milyon Avro'dur. Tipik özgül maliyetler, ton erimiş cam başına 15 – 20 Avro, veya giderilen kg SO_x başına 1 – 1,5 Avro ve giderilen kg toz başına 15 – 25 Avro olarak ifade edilebilir. Bu maliyetler arasında partikül emisyonlarının azaltılması için gerekli görülen filtrenin çalıştırılması da yer almaktadır. Bu durumda, yaş yıkamanın toplam maliyeti, kuru yıkama artı filtreden önemli ölçüde daha yüksektir.
- Günde 100 – 125 ton kesintisiz cam elyaf üretim kapasitesine sahip oksijen-yakıtla çalışan bir fırına veya hava-yakıtla çalışan bir reküperatif fırına yaş yıkama uygulaması için tahmini yatırım maliyetleri, çamur ve atık su arıtma dâhil 2,6 – 3,0 milyon Avro aralığındadır. Yıllık işletme maliyetleri, fırın başına yaklaşık 300000 Avro'dur. İlave üretim maliyetlerinin, ton atık başına 100 Avro'luk bir bertaraf maliyeti göz önüne alındığında ve özgül değere önemli ölçüde katkı sağlayacak olan su arıtma maliyetleri hariç tutulduğunda, ton cam başına 14 – 16 Euro arasında olduğu tahmin edilmektedir. Bu maliyetler, daha yüksek atık bertaraf ücretleri (ton atık başına 400 Avro) uygulanırsa, ton erimiş cam başına 20 – 22 Avro'ya kadar olmak üzere önemli ölçüde artacaktır. Bu durumda, SO_x giderimi için özgül maliyetler, giderilen kg SO₂ başına yaklaşık 1 – 1,65 Avro ve giderilen kg toz başına 20 – 30 Avro olacaktır.
- Teknik şu anda bu sektörlerde uygulanmadığından, sofra gereci, cam ambalaj ve yüzdürme cam tesisleri için herhangi bir maliyet verisi mevcut değildir.

Uygulamanın itici gücü

Yaş yıkama sisteminin uygulanmasının itici gücü, borik asitler gibi diğer tekniklerle kontrol edilmesi özellikle zor olan gaz halindeki emisyonları en aza indirme ihtiyacı olabilir. Bununla birlikte, bu teknikle ilişkili önemli ortamlar arası etkiler, yaş yıkama uygulaması açısından risk teşkil etmektedir.

Örnek tesisler

Cam sanayiinde faaliyette olan çok sınırlı sayıda uygulama vardır. Bazı sistemler kesintisiz cam elyaf ergitme fırınlarına (Hollanda'da iki fırın) ve özel cam üretimine (örn. Almanya ve Avusturya'da) uygulanmaktadır. Teknik, altı elektrikli fırının baca gazlarının arıtılması için İtalya'da cam ev eşyası sektöründe nispeten küçük bir tesise uygulanmaktadır.

Özel cam üreten örnek bir tesise ilişkin veriler Tablo 4.35'te verilmiştir.

Tablo 4.35: Örnek bir kurulumda özel cam üreten elektrikli fırına yaş yıkama uygulamasıyla ilişkili emisyon seviyeleri

İşletme parametreleri		
Fırın tipi	Elektrikli ergitme	
Fırın kapasitesi	40 ton/gün	
Gerçek ergitme hızı	32 ton/gün	
Fırın yaşı	3,5 yıl	
Cam türü	Farlar için soda-kireç	
Cam kırığı (sadece tesis içi)	% 30	
Özgül enerji tüketimi (sadece ergitme)	4,50 GJ/t cam	
Toplam enerji tüketimi (ton erimiş cam başına)	7,11 GJ/t cam	
Atık gaz arıtma sistemi	Yaş yıkayıcı	
Emisyon seviyeleri ⁽¹⁾		
	mg/Nm ³ , kuru gaz	kg/ton erimiş cam
Partikül madde	1.8	0,017
NO _x ⁽²⁾	159	1,54
SO _x	2.3	0,022
HCl	<0,2	<0,002

⁽¹⁾. Emisyon verileri, yarım saatlik süreksiz ölçümleri referans alır.

⁽²⁾. NO_x emisyonları, harman formülasyonunda nitratların kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Kaynak: [111, Avusturya Özel cam tesisi 2006]

Referans literatür

[94, Beerkens - APC Değerlendirmesi 2008]

4.4.4 Florürler (HF) ve klorürler (HCl)

Bu kısımda, gaz halindeki florürler ve klorürlerin tümü, sırasıyla hidrojen florür (HF) ve hidrojen klorür (HCl) olarak ifade edilmiştir. Salınan halojenürlerin büyük bölümü bu formlardadır. HF ve HCl emisyonları, Harmandaki hammaddelerdeki safsızlıklardan veya belirli ürün özelliklerini sağlamak için yeterli miktarlarda bu türleri içermeleri nedeniyle seçilen Harmandaki hammaddelerden kaynaklanır.

4.4.4.1 Kaynakta azaltım

Çoğu işlemde HF ve HCl emisyonları, Harmandaki hammaddelerdeki safsızlıklardan kaynaklanır ve bunlar ergitme sırasında salınır. Pek çok hammadde, nihai emisyon seviyeleri üzerinde çok az etkisi olan, çok düşük seviyelerde flor ve klor içerir. Bununla birlikte, dış cam cam kırıkları da dâhil olmak üzere bazı hammaddeler, bu elementleri safsızlıklar halinde önemli miktarlarda içerir ve bu türün kapsamındaki ana maddeler şunlardır:

- yaklaşık % 0,05 - 0,15 kalıntı NaCl içeriğine sahip, sentetik soda külü.
- önemli florür safsızlıkları içerebilen dolomit
- Başta klorürler, florürler ve metaller olmak üzere, önemli seviyelerde safsızlık içerebilen tüketim sonrası cam kırığı. Bu maddelerin miktarı cam cam kırıklarının saflığına bağlı olarak değişir, ancak geri dönüşüm seviyeleri yüksek olan bölgelerde kademeli olarak camda birikebilirler
- azaltma ekipmanından geri dönüştürülen tozlar, sistemde birikebilecek florür ve klorür tuzları içerir
- bazı yakıtlar (örneğin belirli kaynaklardan gelen kok) klorür içerebilir.
- klorür içerebilen, dış geri dönüşüm cam kırıklarındaki plastikler.

Harmanda yüksek sentetik soda külü seviyelerinin kullanıldığı bu işlemlerden (esas olarak soda-kireç camı) kaynaklanan klorür emisyonları, örneğin cam yünü veya kesintisiz cam elyafından kaynaklanana göre önemli ölçüde yüksektir (bkz. 3. Bölüm). Bu malzemelerin harmana kasıtlı olarak dâhil edilmediği işlemlerden en yüksek HCl ve HF emisyonlarına sahip olanlar genellikle düz cam ve cam ambalaj prosesleridir.

Hammaddelerin dikkatli seçimi ile emisyon seviyeleri en aza indirilebilir. Soda külündeki NaCl seviyelerine ilişkin hususlar 4.4.1.1'de ele alınmaktadır. Dördüncü Bölümde tartışılan diğer bazı teknikler de HF ve HCl emisyonları üzerinde faydalı etkilere sahiptir. Bunlar esas olarak sıcaklıkları düşürerek, hava akışını azaltarak ve türbülansı en aza indirerek buharlaşmayı azaltan tekniklerdir. Bu tekniklerden bazıları şunlardır:

- artan kırık kullanımı; sıcaklığı ve enerji kullanımını azaltır ve soda külünün ve bununla ilişkili klorür safsızlığının yerini alır. Cam kırıkları yüksek oranda HCl veya HF seviyelerine sahipse, paradoksal bir etki ortaya çıkabilir.
- elektrikle destekleme
- iyileştirilmiş fırın tasarımı ve geometrisi
- brülör konumlandırma
- oksî-fuel ergitergitme
- elektrikli ergitergitme

Cam sanayiinde imal edilen belirli ürünlerde, malzemeye bazı özellikler kazandırmak veya cam kalitesi gereksinimini karşılamak için florür içeren malzemeler kullanır. Bunun en önemli örnekleri aşağıda ele alınmaktadır.

Kesintisiz cam elyaf

Kesintisiz cam elyaf üretiminde genellikle florür gerekir. Florür, elyaflaşmaya yardımcı olmak ve lif kırılmasını en aza indirmek, yüzey gerilimini ve likidite özelliklerini optimize etmek amacıyla eklenir. Bunlar, sürecin ekonomik ve çevresel performansı için önemli faktörlerdir. Yüksek kırılma düzeyi, verimin azalmasına ve atığın artmasına neden olur. Florür ilavesinin temel kaynağı genellikle flüspattır (CaF_2) ve Çin kilinde (alümina silikat) de önemli düzeyde mevcut olabilir.

Kesintisiz cam elyaf formülasyonlarında eklenen florür miktarını azaltmak veya ortadan kaldırmak için çalışmalar yürütülmüştür. Böyle durumlarda, esas olarak kaolin kilinden olmak üzere mineral hammaddelerde bulunan katıksı florürler cam eriyiğindeki florürün tek kaynağıdır. Yeterli mineral kaynakları mevcut olduğunda (uygun kalitede ve ekonomik olarak uygulanabilir), hammaddelerin dikkatli bir şekilde seçilmesi, $<20 \text{ mg/Nm}^3$ veya 0,09 kg/erimiş ton emisyon seviyelerinin elde edilmesini sağlar.

Yakın dönemde geliştirilen borsuz E-cam günümüzde Avrupa'da bu tescilli teknolojiye erişimi olan birkaç şirket tarafından üretilmekte olup, cam eriyiğindeki uçucu maddelerin 'fiilen' ortadan kaldırılmasını sağlar, sıfır bor, düşük alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < \% 1$), düşük sülfat ve düşük florür içeriği bulunmaktadır.

Flor ve bor içermeyen formülasyonların kullanımıyla ilişkili potansiyel bir ortamlar arası etki, daha yüksek erime sıcaklığından kaynaklanan daha yüksek enerji tüketimidir. Bununla birlikte, borun yokluğu, mevcut ısının cam eriyiğine daha iyi bir şekilde aktarılmasını sağlamak üzere 'konvektif cam ergitergitme' tekniğinin ('tavan brülörleri') kullanılmasına olanak sağlar.

Düşük florlu ve düşük borlu camlardaki gelişmeler, pahalı geliştirme çalışmalarının sonucudur ve teknolojiler, geliştirici şirketleri tarafından korunmaktadır. Bu nedenle, teknik tüm işletmeciler için derhal kullanılabilir değildir. Ayrıca, formülasyonunda değişiklikler yapılan yeni ürünler için tamamlanması gereken uzun ve masraflı ürün kayıt prosedürleri de mevcuttur.

Frit üretimi

Florür emisyonları, harmanda florürlü bileşiklerin kullanımı ile doğrudan ilgilidir. Florürler, ağırlıklı olarak emaye fritlerin üretiminde kullanılır ve genellikle seramik frit üretimi için kullanılan hammaddelerde önemli bir mevcudiyet göstermez. Bazı seramik frit üreticileri, periyodik olarak seramik frit fırınlarında florür emisyonlarına neden olan küçük miktarlarda emaye frit üretebilirler, ancak bu, işletmecinin genel üretiminin çok küçük bir bölümünü oluşturur. Florür emisyonları, muhtemelen emaye frit üretiminin en önemli çevresel etkisidir.

Florürler, frite gelişmiş termal ve kimyasal direnç, azaltılmış emaye kaplama kabarma riski gibi özel nitelikler sağlar. Harmana flüspat, florosilikat, kriyolit veya sodyum florosilikat olarak eklenirler. Çoğu üretici artık florürsüz veya düşük florürlü emayeler sunmaktadır ve bu ürünler giderek daha yaygın hale gelmektedir. Genel olarak, florürsüz ürünler üretimin % 10'undan azını, düşük florürlü ürünler ise yaklaşık % 30'unu temsil etmektedir. Harmandaki florür genellikle yıkama teknikleri veya diğer frit türleriyle karşılaştırılabilir emisyon seviyelerinin elde edilmesini sağlayacak kadar azaltılamaz.

Opak camlar

Cam ev eşyaları, özel cam ve kimi zaman cam ambalaj sektörlerinde opak cam üretimi gerçekleştirilir. Florür ilavesi, kristalleşmeye neden olarak cama karakteristik bulanık ve opak görünümünü verir. Bu ürünleri imal eden tesislerin çoğu, HF emisyonlarını arıtmak için kuru yıkama teknikleri kullanır. Benzer kalitede üretim sağlayan alternatifler mevcut değildir. Çoğu durumda opak cam, soğuk başlıklı elektrikli fırınlarda ergitilir. Bu durum, emisyonları düşürür çünkü florürün önemli bir kısmı harman örtüsüne emilir ve genel florür ihtiyacı azalır. Ayrıca elektrikli ergitme tesislerinin kullanılması, arıtılacak atık gaz hacmini de büyük ölçüde azaltır.

Özel cam sektöründe aynı zamanda çok yüksek florür içeriğine sahip optik bir ürün olan florlu cam üretimi de yapılmaktadır. Bu camın üretim seviyesi çok düşüktür ve AB'de her zaman atık gaz arıtımı ile birlikte yapılmaktadır.

Genel olarak, kaynaktan azaltma sağlamaya yönelik tedbirler, atık gaz arıtmaya tercih edilir. Flor içeren camlarda, flor seviyelerini düşürmeye yönelik tedbirler, işletim koşulları üzerinde, önemli geliştirme kaynakları ayrılmasını gerektiren ciddi kısıtlamalara sebep olabilir. Mevzuatın emisyon azaltımını gerektirdiği durumlarda, bu durum birçok üreticinin atık gaz arıtımı ve özellikle kuru yıkamayı tercih etmesine yol açmıştır.

4.4.4.2 Yıkama teknikleri

Bu emisyonlar için uygulanabilecek yıkama teknikleri kuru, yarı kuru ve yaş yıkamadır. Bu teknikler ve elde edilebilir emisyon seviyeleri yukarıda 4.4.3.3 ve 4.4.3.4'te ele alınmıştır. Soğurucu madde seçimi önemlidir ve bazen SO₂ giderimi ile HF ve HCl giderimi arasında tercih yapılmasını gerektirir. Özellikle HCl/HF ve SO₂ arasında, sodyum karbonatla çatışan bir reaksiyon vardır. En iyi seçim, atık gazdaki farklı kirlenmelerin göreceli seviyeleri gibi bir takım hususlara bağlı olacaktır. Cam imalat sanayiinde uygulanan en yaygın alkali reaktifler için farklı giderme verimlilikleri Tablo 4.27, Tablo 4.30 ve Tablo 4.31'de sunulmaktadır.

Çok küçük ölçekli prosesler (örneğin bazı frit fırınları) için teknik ve ekonomik olarak uygun olabilecek başka bir teknik, su veya daha etkili olan bir alkali çözeltinin sirkülasyonunu sağlayan dolgu yataklı yıkayıcı kullanılarak yapılan yaş yıkamadır. Bu yaklaşımın en önemli dezavantajı, sulu bir atık akışının üretilmesidir.

4.4.5 Karbon oksitleri

Karbon oksitleri arasında karbon dioksit (CO₂) ve karbon monoksit (CO) bulunur. Tamamlanmamış yanmanın bir ürünü olarak ortaya çıkan karbon monoksitin cam sanayii tesislerinden çevreye zarar verecek düzeydeki emisyonları nadirdir. Taş yünü kupol ocaklarında yüksek seviyelerle karşılaşılır, ancak çoğu tesis, salınımdan önce emisyonları oksitlemek üzere bir son yakıcı ile donatılmıştır. Karbondioksit, fosil yakıtların veya diğer organik maddelerin yanmasından, karbonatların ayrışmasından ve yığında bulunan karbon içeren (cüruf, karbon, vb.) diğer ham maddelerin oksidasyonundan ortaya çıkar. CO₂ emisyonları, büyük ölçüde ergitme işleminin enerji verimliliğine bağlıdır ve diğer kirleticilerin kontrolü için harman ve kırık ön ısıtması, yeniden yakma veya 3R işlemi vb. birincil veya ikincil teknikler uygulandığında önemli ölçüde değişebilir.

Soda külü ve kireçtaşı gibi karbonatlar, cam yapımında alkali metal oksitlerinin ve toprak alkali oksitlerin temel kaynağıdır. Ancak son zamanlarda bir kısım cam üretiminde karbonat yerine yanmış kireç ve dolomit kullanımı uygulanmaya başlanmıştır. Bu oksitlerin gerçek anlamda tek alternatifleri, tüketim sonrası atıklar ve proses atıklarıdır, yani cam proseslerinde kullanılan kırık ve ortaya çıkan atıklar, geri dönüştürülen ürün ve cüruf (yalnızca taş yünü üretimi için). Bu malzemeleri ilgilendiren hususlar bu belgenin başka bir kısmında ele alınmıştır, ancak genel olarak bunların kullanımını sınırlayan en önemli faktör, yeterli miktarda malzemenin uygun kalitede ve istikrarlı bir tedarik ile sağlanabilir olup olmadığıdır. Bu malzemelerin yüksek kullanımı genellikle cam ambalaj, cam kırığı kullanımı söz konusu olduğunda cam yünü ve cüruf kullanımı söz konusu olduğunda taş yünüyle sınırlıdır.

Karbondioksitin çevresel etkileri iyi bilinmektedir, ancak 2010/75/AB Direktifinin Ek II'sinde listelenen temel kirleticilerden değildir. Cam sanayiinde geri dönüştürülmüş malzemelerin artan kullanımı, enerji tasarrufu ve atıkları azaltma ihtiyacından kaynaklanmaktadır; bir diğer avantajı ise, karbonlu malzemelerin ikamesi yönündeki etkisidir. Benzer şekilde, azaltılmış yakıt kullanımıyla CO₂ emisyonlarını azaltmanın altında yatan motivasyon, enerji kullanımını ve işletme maliyetlerini azaltma ihtiyacı ve NO_x emisyonlarını düşürmeye yönelik baskıdır. Bu bölümde ele alınan pek çok tekniğin CO₂ emisyonları üzerinde önemli etkileri vardır, ancak enerji ve diğer kirleticiler için dikkate alınanlar haricinde, cam sanayii tesisleri için MET'in belirlenmesinde dikkate alınmak üzere herhangi diğer bir teknik sunulmamıştır.

Özellikle üretim sürecinde ve hava kirliliği kontrol sistemlerinin çalıştırılmasında elektrik enerjisinin gerekli olduğu durumlarda, dolaylı CO₂ emisyonları, tesisin karbon oksit emisyonlarına genel katkısını değerlendirmek için de dikkate alınmalıdır.

Karbondioksit (ve diğer sera gazı emisyonları) öncelikli olarak Avrupa Parlamentosu ve Konsey'in topluluk içinde sera gazı emisyon tahsisatı ticareti için bir plan oluşturan 'kardeş' Direktifi (2003/87/EC) tarafından düzenlenir (Avrupa Birliği Emisyon Ticaret Planı Direktifi).

4.5 Ergitme dışı faaliyetlerden havaya salınan emisyonların kontrolüne yönelik teknikler

Bu bölüm, ergitme veya malzeme taşıma ile ilgili olmayan faaliyetleri kapsar. Bu faaliyetler, genellikle ana sürecin bir parçasını oluşturduğu düşünülen ürün şekillendirme ve ürünler üzerinde yürütülen diğer faaliyetleri içerir. Cam sanayiinde yürütülen faaliyetlerin çoğunda, gerçekleştirilen ilk büyük faaliyet hammaddelerin ergitilmesi olduğundan, bundan sonraki faaliyetler bu belgede kimi zaman 'ilave/aşağı akış yönlü' faaliyetler olarak anılmıştır.

İlave faaliyetlerin sektöre özgü nitelikleri nedeniyle, sektörel bazda ele alınmışlardır.

4.5.1 Cam ambalaj

Cam ambalaj üretiminde ergitme harici faaliyetlerden havaya yayılan emisyonların ana kaynağı sıcak kaplama işlemidir. Çok ince bir metal oksit tabakasından oluşan kaplama, şekillendirme makinesinden çıkan sıcak cam ambalajların, içinde kalay veya titanyum bileşiklerinin buharları bulunan bir davlumbazdan geçirilmesiyle uygulanır. Kullanılan en yaygın malzemeler anhidrit kalay tetraklorür (SnCl_4), monobütil kalay triklorür ($\text{C}_4\text{H}_9\text{SnCl}_3$) ve anhidrit titanyum tetraklorürdür (TiCl_4). Emisyonlar HCl, oksiklorürler, ince partikül halinde kalay ve titanyum oksitler (SnO_2 , TiO_2) ve tepkimeye girmemiş kaplama malzemelerinden oluşur. Soğuk kaplama işlemlerinden az miktarda uçucu organik bileşik (UOB) emisyonları da ortaya çıkabilir. Bu emisyonlar çok önemli kabul edilmemekte ve bu belgede daha ayrıntılı ele alınmamaktadır.

Emisyonları azaltmanın ilk adımı, kaplamanın kullanımını ürün gereksinimlerine uygun olarak en aza indirmektir. Kayıpları en aza indirmek için uygulama alanlarının sızdırmazlığı sağlanarak malzemenin kullanımı optimize edilebilir.

Güncel olarak, sıcak kaplama işlemlerinden kaynaklanan atık gazların yönetimi için dört farklı yöntem mevcuttur:

- doğrudan havaya çıkarılır ve yayılır
- ikincil tekniklerle çıkarılır ve arıtılır, örneğin yağ yıkama veya kuru yıkama ve filtreleme
- gaz yıkayıcı ve filtre sisteminin öncesindeki fırından gelen atık gazla karıştırılır
- atık gaz fırın yanma havası ile birleştirilir

Sıcak kaplama işlemlerinden kaynaklanan atık gazların doğrudan havaya verilmesi, genel olarak, yalnızca baca gazında bulunan kirleticilerin kütle akışının veya derişiminin düşük olmasıyla gerekçelendirilebilir. Hatta bazı durumlarda yeni nesil davlumbaz ve dağıtım sistemlerinin uygulanması ile emisyonlar metal bileşikleri için 5 mg/Nm^3 altına ve HCl için 30 mg/Nm^3 altına düşürülebilmektedir.

Ancak bu sadece belirli durumlarda uygulanmaktadır; çoğu tesiste başka seçenekler kullanılır.

Atık gazları fırın yanma havasıyla birleştirme seçeneği, cam kimyası ve rejeneratör malzemesi üzerinde bir miktar etkiye sahip olabilmekle birlikte bunun önemli düzeyde olması muhtemel değildir. Avrupa'daki bazı tesisler, sıcak kaplamadan gelen atık gazı rejeneratöre girmeden önce yanma havası ile birleştirerek bu tekniği uygulamaktadır (2009 itibarıyla), ancak şu anda bu uygulamalarla ilgili herhangi bir bilgi bulunmamaktadır.

Sıcak kaplamadan çıkan baca gazları ile hava kirliliği kontrol sisteminin öncesindeki fırından gelen atık gazın karıştırılması, genellikle fırın atık gazının ikincil gideriminin kurulduğu yerlerde uygulanır. Sağlanan verilerde, bu seçeneğin sıcak kaplama atık gazının arıtılması için uygulamada en sık kullanılan teknik olduğu bildirilmektedir.

Toplam 125 tesisi kapsayan bir araştırmada, 31 azaltma kurulumundan 25'inde sıcak kaplama atık gazlarının arıtılması için bu tekniğin kullanıldığı bildirildi. Toplanan malzemenin geri dönüştürüldüğü durumlarda, metallerin cam üzerindeki etkilerine, sistemde klorür ile metal birikimine ve bunların sistem üzerindeki etkilerine dikkat edilmesi gerekebilir. Bu hususlar, bazı durumlarda tozun geri dönüşümünü sınırlandırabilir.

Bu belgenin başka bir kısmında ele alındığı gibi, yağ gaz yıkayıcılar gaz emisyonlarını azaltmada etkili olabilir, ancak ince tozların arıtılmasındaki etkililiği, sistemdeki basınç düşüşüyle sınırlıdır. Performans, girişteki bileşime bağlı olacaktır, ancak tek aşamalı bir yıkayıcı, yerel gerekliliklere uyum sağlamak için yeterli olabilir. Daha fazla azaltım gerekiyorsa, torbalı filtre ve takip eden dolgu yataklı yıkayıcı veya venturi yıkayıcı ve takip eden dolgu yataklı yıkayıcı kullanılabilir.

Bu tekniklerle HCl derişimini 10 mg/Nm³ altına indirmek mümkündür, ancak ince partiküller ve kalay veya titanyum klorürlerin uygulanmasından kaynaklanan değişik kimyasal özelliklere sahip reaksiyon ürünleri nedeniyle partikül madde ve toplam metal gideriminin verimi oldukça düşüktür. Aerosol halinde HCl mevcut olan yerlerde, 10 mg/Nm³'ün altında emisyonlar beklenebilir. Bu alternatiflerin maliyetleri atık gaz hacmine bağlı olacaktır. Yerel koşullar, benzer rakamların daha basit yöntemlerle elde edilebilmesini sağlayabilir.

Sıcak yüzey işleme işlemlerinden kaynaklanan bir diğer önemli emisyon kaynağı, esas olarak farmasötik kullanıma yönelik cam ambalajın iç yüzeyinin SO₃ ile işlenmesiyle ilişkilidir. Bu durumlarda, SO_x giderimi için normalde yaş yıkama uygulanır.

Yaş yıkayıcıların kullanımına ilişkin teknik detaylar 4.4.3.4 ve 4.5.6.1.2'de verilmiştir.

4.5.2 Düz cam

Genel olarak, düz cam üretiminde ergitme harici faaliyetlerden hava emisyonları çok düşüktür ve azaltma tedbirleri gerektirmez. Yüzdürme banyosu doğru şekilde çalıştırılıyorsa, kayda değer seviyede kalay buharı emisyonu meydana gelmez. SO₂, soğutma tünelinin başlangıcında kullanılır, ancak proses düzgün bir şekilde işletiliyorsa, emisyon seviyesi önemsizdir. Tipik derişimler ve kütle emisyonları 150 – 300 mg/Nm³ ve 0,02 – 0,04 kg/ton cam aralıklarında bildirilmiştir (bkz. 3.4.2.3).

Diğer olası emisyonlar, soğutma tünelineki doğal gaz ısıtıcılarından çıkan yanma ürünleridir. Bunun istisnası, hat üzeri kaplama işlemlerinin gerçekleştirildiği yerlerdir. Bu işlemlerden kaynaklanan emisyonlar son derece duruma özeldir ve burada, kullanılabilecek teknikleri açıklamak amacıyla gerçek bir örnek kullanılmıştır.

Bir kaplama işlemi olan atmosferik basınçlı kimyasal buhar biriktirmede kullanılan hammaddeler: kalay tetraklorür (SnCl₄), hidroflorik asit (HF), metanol (CH₃OH) ve silan (SiH₄). SiCO astar ve flor katkılı kalay oksit üst kaplama olmak üzere iki ayrı kaplama aşaması vardır. Astar aşamasından kaynaklanan emisyonlar, herhangi bir organik madde varlığını gidermek üzere bir termal yakma fırınından geçer, atık gaz soğutulur ve katı maddeler (amorf silika) torbalı filtre ile çıkarılır. Toplanan malzeme fırına geri dönüştürülür.

Üst kaplama aşamasında, halojenürler ve kalay bileşikleri içeren atık gazlar, kalay bileşiklerini oksitlemek üzere yüksek sıcaklıklı bir reaktörden geçirilir. Katı kalay oksit, elektrostatik toz tutucu ile ve halojenürler, dolgu yataklı bir kimyasal yıkayıcıda çıkarılır. Elde edilen emisyon seviyeleri şunlardır:

• partiküller	15 mg/Nm ³
• hidrojen klorür	5 mg/Nm ³
• flor ve HF olarak gaz halindeki bileşikler	<1 mg/Nm ³
• metaller	<5 mg/Nm ³ .

Genel olarak, bu tür faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar, aşağıda listelenen teknikler veya bunların bir kombinasyonu kullanarak kontrol altına alınabilir, bazı durumlarda ise eşit derecede etkili başka teknikler daha uygun olabilir.

- torbalı filtre veya ESP'den oluşan toz azaltma ekipmanı, torbalı filtreye daha düşük emisyonlar (1 – 5 mg/Nm³) elde edilmesi muhtemeldir
- filtrasyon sistemi kuru yıkama ile birleştirilebilir
- yaş kimyasal yıkama
- yüksek sıcaklıkta oksidasyon, örneğin termal yakma.

Maliyetler tesise özeldir ancak genellikle elde edilen sonuçlarla orantılıdır.

4.5.3 Kesintisiz cam elyaf

Bu sektördeki ergitme harici faaliyetler dolayısıyla havaya salınan emisyonların dört temel kaynağı vardır:

- elyaflara kaplama uygulanması
- kek kurutma
- kesme ve frezeleme
- ikincil işleme.

Kaplama malzemelerinin düşük uçuculuğu ve uygulama noktasındaki düşük cam sıcaklıkları nedeniyle, kaplama uygulamasından hava emisyonları genellikle oldukça azdır. Burada önemli noktalardan biri, düşük seviyede organik çözücü içeren kaplama malzemelerinin seçimidir. Bununla birlikte, bazı uçucu türler ya çözücüler ya da reaksiyonların yan ürünleri olarak mevcut olacaktır. Kullanılan kaplama malzemeleri ürünler ve tesisler arasında büyük farklılıklar gösterse de, emisyonları azaltmanın en etkili yöntemi malzeme seçimidir. Camı soğutmak için gereken yüksek hava miktarı, UOB emisyonlarının ikincil tedbirlerle kontrol edilmesini çok zor ve pahalı hale getirir.

Yüksek hava akışları, bir miktar damlacık taşınmasına neden olur ve mevcut herhangi bir UOB'nin buharlaşmasını destekler. Yaş gaz yıkama sistemleri genellikle atık gazı kontrol etmek için kullanılır, ancak uçucu maddeler üzerindeki etkisi yoğunlaşma ile sınırlı olacaktır. Yaş elektrostatik toz tutucuların da bu uygulamada kullanılması mümkündür ancak bunun bilinen örneği yoktur. Yaş yıkama ve yaş elektrostatik toz tutucu maliyetleri, mineral yün sektörü için belirtilenlere benzer olacaktır. Elde edilen emisyon seviyeleri tamamen duruma özel başlangıç seviyelerine bağlı olacaktır; bazı tipik rakamlar 3.5.2.3'te verilmiştir.

Yaş kekler genellikle fırınlarda kurutulur ve bu sıcaklıklarda herhangi bir uçucu tür su buharı ile birlikte salınır. Genel olarak, malzemelerin molekül ağırlıkları oldukça yüksektir ve herhangi bir uçucu maddenin önemli bir kısmı kaplama uygulaması sırasında salınmış olacaktır. Emisyon seviyeleri hakkında çok az bilgi mevcuttur ve şu anda emisyonların en aza indirilmesinde kullanılan yegane teknik malzeme seçimidir. Atık gaz hacimleri oldukça küçüktür ve önemli miktarlarda emisyonların tespit edilmesi halinde atık gaz yakma, adsorpsiyon ve yıkama gibi standart kontrol teknikleri kullanılabilir. Bu tekniklerin bu uygulama özelinde maliyet bilgisi mevcut değildir, ancak bu tür teknikler düşük gaz hacimleri için hali hazırda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu tür emisyonların, herhangi bir azaltma tekniği uygulanmadan önce kaplama formülasyonunun optimizasyonu ile kontrol edilmesi her zaman tercih edilir olacaktır.

Kesme ve frezelemeden kaynaklanan toz emisyonları, bir filtre sistemine çekilerek kolayca arıtılabilir. Bu, sektör genelinde kullanılan standart tekniktir ve 1 – 5 mg/Nm³ aralığında emisyonlar elde edilebilir.

İkincil işlemede, başka kaplama veya bağlayıcı malzemelerin kullanımı söz konusu olabilir. Emisyonlar son derece duruma özeldir ve birincil tedbirlerin istenen performansa ulaşmadığı durumlarda UOB'ler ve eser miktarda gazlar için standart azaltma teknikleri kullanılabilir.

4.5.4 Cam ev eşyaları

Cam ev eşyaları proseslerinin çoğunda, fırın sonrası faaliyetlerden havaya önemli düzeyde emisyonlar gerçekleşmez. Doğru cam sıcaklığını korumak için; alevle parlatmada ve tavlama tüneline bir dizi brülör sistemi kullanılır, ancak özel kontroller gerektiren önemli emisyonlar mevcut değildir.

Bunun istisnası, özellikle tam kurşunlu kristal, kurşunlu kristal ve kristal cam olmak üzere, kesme ve parlatma gerektiren ürünlerin üretimidir. Aşağı akış faaliyetleri sırasında oluşan tozda kurşun bulunması, işçiler için sağlık ve güvenlik sorunlarını önlemek üzere potansiyel kaçak emisyonların dikkatli bir şekilde kontrol edilmesini gerektirir.

Kesme sırasında, elmas emdirilmiş diskler kullanılarak, işlenmemiş camların üzerine elle veya otomatik olarak ince desenler oyulur. Kenar zımparalama gibi diğer kesme ve zımparalama faaliyetleri de gerçekleştirilebilir. Su, genellikle kesme işleminde ve toz emisyonlarını önlemek için soğutucu olarak kullanılır. Soğutucunun buğu yapmasını önlemek için ekstraksiyon da sağlanabilir. Bu faaliyetlerin bir sıvı soğutucu altında yürütüldüğü yerlerde, havaya kayda değer emisyonlar olmaz, ancak ekstraksiyon sistemi için buğu giderici gerekebilir. Kuru kesme veya zımparalama işlemleri yapılacaksa toz, 1 – 5 mg/Nm³ aralığında toz emisyonları sağlamak üzere verimli bir torbalı filtre sistemine çekilerek içinden geçirilebilir. Kurşun kristal cam üzerinde gerçekleştirilen kesme ve öğütme işlemlerinde, işlemten sonra (örneğin torbalı filtre) Pb emisyonlarının 1 – 1,5 mg/Nm³'ün altında olması beklenir.

Cam kesimi, cam üzerinde gri, bitmemiş bir yüzey oluşturur. Camın yüzeyi, hidroflorik ve sülfürik asitlerden oluşan bir parlatma banyosuna daldırılarak orijinal görünümüne geri döndürülür, 50 °C'nin altında sıcaklıkta uygulanan çözeltide tipik olarak % 30 H₂SO₄ ve % 2 – 3 HF içeriği bulunur. Parlatma banyosunun yüzeyinden HF ve SiF₄ dumanları salınır. Bu emisyonları arıtmanın en etkili yolu genellikle su veya kimyasal bir çözeltiyle yaş yıkamadır. Bu işlem sırasında, heksaflorosilik asit (H₂SiF₆) oluşur (% 35'e kadar) ve yıkama sıvısının asidinin giderilmesi gerekir. Alternatif olarak, H₂SiF₆ geri kazanılabilir ve belirli durumlarda kimya endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilir. Asit yıkama sistemlerinden kaynaklanan atmosferik emisyonlarla ilgili temel endişe kaynağı hidroflorik asittir; <5 mg/Nm³ HF normalde elde edilen değerlerdir. Parlatma işlemlerinden kaynaklanan su, florürleri ve sülfatları gidermek üzere normalde sönmüş kireç ile işlenir. Su arıtımından kaynaklanan çamur, CaSO₄ ve düşük miktarlarda CaF₂ bileşiklerinden oluşur ve olası yeniden kullanım için (örneğin çimento endüstrisi) harici olarak arıtılır.

Bu uygulamalarda yaş gaz yıkayıcılarla (<5 mg/Nm³ HF) çok düşük emisyon seviyeleri elde edilebilir. Emisyonlar, çok asidik yapıda olmaları nedeniyle suda yüksek çözünürlüğe sahiptirler ve kimyasal yıkama gerekli olmayacaktır. Kimyasal yıkama, daha düşük su kullanımına neden olur, ancak atık sudan H₂SiF₆ geri kazanımını önler. Mekanik parlatma ve alevle veya lazerle yüksek sıcaklıkta parlatma gibi, asitli parlatmaya alternatif olabilecek teknikler son dönemlerde geliştirilmiştir; ancak metnin yazıldığı tarihte (2010) bu tekniklerin uygulanmasına dair bilgi mevcut değildir.

4.5.5 Özel cam

Genel olarak, bu sektördeki standart ilave faaliyetlerden havaya önemli emisyonlar yoktur. TV camı üretiminde, öğütme ve parlatma faaliyetleri söz konusudur, ancak bunlar sıvı bir ortamda yapılır ve normalde havaya herhangi bir emisyonu neden olmaz. TV camı veya diğer ürünler herhangi bir kuru kesme, zımparalama veya parlatma işleminden geçirilecekse, torbalı filtre sistemine ekstraksiyon yoluyla emisyonlar kontrol altına alınabilir ve 1 – 5 mg/Nm³ aralığında toz emisyonları elde edilebilir. Bu çok çeşitli bir sektördür ve bazı tesislerde sahaya özel değerlendirme gerektiren faaliyetler olabilir.

4.5.6 Mineral yün

Mineral yün sektöründeki ergitme dışı faaliyetlerden ortaya çıkan emisyonların dört ana kaynağı şekillendirme, kütleme, ürün soğutma ve ürün işleme ile paketlemedir. Bunlar arasında en önemlilerinin şekillendirme ve kondenzasyondan kaynaklanan emisyonlar olduğu 0. Bölümde gösterilmektedir. Bu emisyonlar büyük ölçüde fenollü reçine esaslı bağlayıcı sisteminin kullanımıyla ilgilidir.

Bu bölümdeki teknikler, hem kolaylık sağlamak için, hem de atık gazların nitelikleri farklı olduğu için şekillendirme alanı ve kondenzasyon alanı için ayrı ayrı açıklanmıştır. Bununla birlikte, tekniklerin bazıları her iki alanda da uygulanabilir ve özellikle cam yünü üretiminde emisyonların azaltılması için birlikte kullanılmaları avantajlı olabilir.

Bu tür durumlarda, teknikler en kapsamlı olarak şekillendirme alanı için tarif edilmiş ve kondenzasyona çapraz referansta bulunulmuştur.

Cam yünü ve taş yünü proseslerinden kaynaklanan hat emisyonları arasında bir takım önemli farklar söz konusudur ve bunlar, en çok ilişkili oldukları tekniklerle ilgili bölümlerde tartışılmaktadır.

4.5.6.1 Şekillendirme Alanı

Şekillendirme alanında, cam veya taş eriyiği elyaflaştırılır ve bağlayıcı uygulanır. Reçine kaplı elyaf, vakum altındaki bir toplama bandına yönlendirilir. Cam yünü proseslerinde su, ekstraksiyon kanalına ve fanın içine püskürtülür. Bu, iki işlevi yerine getirir; kanallarda malzeme birikimini önler ve bazı parçacık ve gaz halindeki bileşenlerin gaz akışından çıkarılmasını sağlar. Taş yünü işlemleri, kanal içi su spreylerinin kullanımında farklılık gösterir; bazı kullanımlar cam yünü fabrikaları ile benzerdir, ancak çoğunda su püskürtme uygulanmaz. Taş yünü kupolunun çalışma süreleri yalnızca birkaç haftadır, bu nedenle kanalları temizleme imkanı vardır ve su püskürtme her zaman gerekli görülmez.

Şekillendirme alanındaki atık gazda önemli seviyelerde partikül madde, fenol, formaldehit ve amonyak bulunması muhtemeldir. Genellikle çok küçük bir partikül boyutuna sahip ve yapışkan olan partikül madde, hem organik hem de inorganik maddelerden oluşur. Bağlayıcı sistemine dâhil edilmiş olmaları halinde, düşük seviyelerde UOB ve amin de tespit edilebilir. Prosesin doğası gereği, gaz akışı ortam sıcaklığının biraz üzerindedir, yüksek bir hacme sahiptir ve (kanal içi su spreyleri kullanılıyorsa) suya doymuştur. Kirlenici maddelerin nitelikleri ile birleşen bu özellikler, uygulanabilecek azaltma tekniklerinin sayısını sınırlar. Salınımlar bir dizi faktörden önemli ölçüde etkilenebilir, ancak bunların en önemlileri:

- bağlayıcı sistemi kimyası;
- elyaflaştırma tekniği;
- çalışma koşulları (sıcaklık, hava akışı ve nem);
- uygulanan bağlayıcı miktarı; ve
- bağlayıcı uygulama yöntemidir.

Bu parametrelerin kanal içi su püskürtme ile bağlantılı optimizasyonu, proses emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Bağlayıcı sistemin kimyası en önemli faktörlerden biridir ve proses suyu sistemi ve şekillendirme, kondenzasyon ve soğutma emisyonları üzerinde önemli etkilere sahiptir (ayrıntılı bilgi için 2.9.1 kısmına bakınız). Operatörlerin kullandığı bağlayıcı sistemleri değişiklik gösterir ve genellikle sektör dışında iyi anlaşılmaz. Bunlar, oldukça tesise özel sistemler olabilir ve ayrı ayrı ele alınmaları gerekebilir. Aşağıdaki kısımda bazı temel hususlar özetlenmektedir.

Reçine ve bağlayıcı kimyası ile ilgili hususlar

Bağlayıcı sistemin kimyasının ve uygulama yönteminin etkinliğinin optimizasyonu, çevreye salınımlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilir. Bağlayıcı, ayrıca nihai ürünün maliyetinin büyük bir kısmını da temsil eder. Bu nedenle, proses operatörleri bağlayıcı kimyası ve uygulama tekniklerindeki gelişmelerin gizli tutulmasından yanadır.

Bağlayıcı; su, fenolik reçine, üre, amonyum sülfat, amonyak, silan, mineral yağ, silikon yağı ve işleme özel diğer bileşenlerden oluşur.

Reçine, esas olarak, trimetilol fenol, dimetilol fenol, formaldehit, az miktardaki fenol ve formaldehit reaksiyon ürünleri ve eser miktarda fenol karışımından oluşan bir fenolik resoldür. Reçine su bazlıdır ve tipik olarak % 50 katı içeriğine sahiptir. Düşük bir serbest fenol seviyesi elde etmek için reaksiyonda aşırı miktarda formaldehit kullanılır.

Bazı reçineler aminle katalize olur ve atık gazda önemli seviyelerde amin gazı olmasına neden olabilir. Bu emisyonlar, reçine üretiminde katalizör olarak diğer türler kullanılarak tamamen ortadan kaldırılabılır. Bir dizi madde kullanılabilir, ancak optimize edilmiş sistemlere dair kesin ayrıntılar genellikle şirketin mülkiyetindeki bilgi olarak kabul edilir. Aminsiz katalize reçine sistemleri kullanılarak 5 mg/Nm³'ten daha düşük emisyon seviyeleri elde edilebilir. Şirket, aminsiz katalize reçine geliştirmek için yeterli kurum içi uzmanlığa sahip değilse, bu tür sistemler uzman reçine tedarikçilerinden kolayca temin edilebilir.

Üre, reçineyi genişletmek ve serbest formaldehit seviyelerini azaltmak üzere reçine ile reaksiyona girer ve ayrıca nihai ürünün ateşe dayanıklılığını artırma etkisine sahiptir. Üre, reçinedeki serbest formaldehit ile reaksiyona girerek metilol üre oluşturur, bu da sonrasında fenolik reçine üzerindeki aktif bölgeler ile reaksiyona girer ve kondenzasyon sırasında çapraz bağlanma mekanizmasında yer alır. Üre, fenolün yerine geçer ve bağlayıcı maliyetinin daha uygun olmasını sağlar. Bu nedenle, operatör, reçinedeki üre miktarını ürün kalitesinin veya işleme parametrelerinin olumsuz etkileneceği noktaya kadar arttırmak isteyecektir.

Ürenin iki temel dezavantajı vardır; reçinenin çözünürlüğünü azaltır ve hem şekillendirme alanında hem de kondenzasyon fırınında amonyak oluşturmak üzere parçalanabilir. Üre kullanımının en üst düzeye çekilmesi çevresel olarak faydalıdır, çünkü formaldehit emisyonu azaltır, fenolün yerini alır ve ürenin parçalanma ürünleri, diğer türlü yayılacak olan fenolik türevlere ve kısmi yanma ürünlerine tercih edilir.

Amonyak, bağlayıcı sistemde bir takım önemli role sahiptir ve sürecin bir bütün olarak optimize edilmesinde önemli olan bir esneklik sağlar. Amonyak, bağlayıcının çözünürlüğünü iyileştirerek daha fazla üre eklenebilmesini ve bağlayıcının daha uzun süre saklanabilmesini sağlar. Ayrıca sistem pH'ının doğru aralıkta tutulmasına yardımcı olur ve herhangi bir serbest formaldehit ile reaksiyona girer. Prosesin nitelikleri gereği, kısa sürelerde normalden daha yüksek seviyelerde amonyak salınabilir. İşlemdeki amonyak seviyelerinin azaltılmasının etkileri, sürecin geri kalan kısmındaki etkilerle orantısız olabilir ve daha yüksek amonyak salım seviyeleri, daha düşük genel emisyonlarla sonuçlanabilir.

Reçinenin kondenzasyonunu kontrol etmek için amonyum sülfat eklenir. Silan, inorganik cam ve organik bağlayıcı arasında son derece önemli bir arayüz görevi görür. Silan hidroksil grupları, cam oksitler ile etkileşime girer ve organik fonksiyonel grup, güçlü bir bağ oluşturmak üzere reçine ile reaksiyona girer. Ürünün işleme özelliklerini iyileştirmek, toz oluşumunu önlemek ve bir dereceye kadar su geçirmezlik sağlamak için mineral ve silikon yağlar eklenir.

Bağlayıcı, şekillendirme alanında sıcak cama uygulandığında uçucu bileşikler (örn. amonyak, formaldehit ve fenol) buharlaşacak ve salım noktasına kadar çekilecektir. Uçucu madde emisyonunun seviyesi, bağlayıcı içindeki tepkimeye girmemiş uçucu malzeme miktarının, bağlayıcının seyrekliğinin, şekillendirme başlığı içindeki sıcaklığın ve camın sıcaklığının bir fonksiyonu olacaktır. Bağlayıcı ince bir sprey olarak uygulanır ve keçe üzerinde tutulmayan her damlacık çekilen hava ile salınır. Ürün üzerindeki bağlayıcı tutma derecesi, damlacık boyutu dağılımına, keçenin kalınlığına ve uygulanan emiş seviyesine bağlı olacaktır. Fenolik reçine bazlı bağlayıcılara çeşitli alternatifler değerlendirilmiş, ancak hiçbirinin kabul edilebilir ürün kalitesi sağlamadığı görülmüştür.

4.5.6.1.1 Darbeli jetler ve siklonlar

Açıklama

Şekillendirme alanı için uygun azaltma sistemlerinin değerlendirilmesinde önemli bir faktör, gaz akışının su içeriğidir. Cam yünü üretiminin sürekli niteliği, ekstraksiyon kanallarında ve fanda yapışkan organik materyal ve lif birikimini önlemek için bir temizleme mekanizmasının kullanılmasını gerektirir. Uygulanan normal teknik, çeşitli şekillerde olabilen kanal içine su püskürtmedir. Taşyünü kupol üretiminin sürekli olmayan yapısı (bir ila üç haftalık çalışma süreleri), gerekirse kanalların temizlenmesi imkanı sağlar.

Ayrıca taş yünü üretimi, birim ürün hacmi başına nispeten daha az bağlayıcı kullanımı içerir ve bu nedenle birikim daha yavaştır. Bazı taş yünü prosesleri, şekillendirme alanında su spreyleri kullanır, ancak bu büyük ölçüde operatörün tercihine veya tesise özel işletim gereksinimlerine bağlıdır.

Kanalları temizlemek için su püskürtmenin kullanıldığı durumlarda, bunların atık gazı temizlemek için optimize edilmesi mantıklı olacaktır. Bu durumda, iki amaç tamamen tamamlayıcıdır; atık gazdan ne kadar çok malzeme çıkarılırsa, temizleme işlevi o kadar etkili olur. Sistemler, genel olarak, kanal sisteminde kabul edilemez düzeydeki birikimi önlemek için gerekli olan minimumun ötesinde uyarlanmıştır. Sektör içinde, bu optimize edilmiş tekniği tanımlamak için darbeli jetler terimi kullanılmaktadır.

Gaz temizlemenin verimliliğini optimize etmek için, sistemler yüksek hacimde ve yüksek basınçta su uygulayabilir, ancak bu önemli bir basınç düşüşü oluşturmaz. Darbeli jetlerin tasarımı süreçler arasında farklılık gösterecektir, ancak hem kanal temizleme hem de atık gaz yıkama için tekniğin etkinliğini optimize etmeyi amaçlamaktadır. Atık gazdan gelen suyu gidermek için, darbeli jetler her zaman siklonlarla (veya diğer cihazlarla) kombinasyon halinde kullanılır; bunlar da 4.4.1.4'de açıklandığı gibi, tasarıma bağlı olarak partikül seviyeleri üzerinde bir etkiye sahiptir.

Partikül ve damlacık giderme, darbe/çarpma yoluyla ve daha az ölçüde difüzyonla gerçekleşecektir. Bazı sistemlerde, giderme verimliliğini iyileştirmek için kanalın daraltılmasını tercih edilebilir, ancak partikül uzaklaştırma verimliliği aslen tüm bu sistemler için düşük olan basınç düşüşüne bağlıdır. Genel olarak, sistemdeki düşük basınç düşüşü nedeniyle, büyük partiküller ve lifler iyi giderilirken, ince partikül madde ve damlacıkları giderme verimliliği oldukça düşüktür.

Gazlı maddeler su ile temas yoluyla kısmen absorbe edilecektir. Gaz absorpsiyonunun etkinliği; atık gaz akımındaki gazın kısmi basıncı ile sıvıdaki gazın buhar basıncı arasındaki farka, gazın sıvı içindeki çözünürlüğüne, yüzey temas alanına ve daha az ölçüde, temas süresine bağlıdır. Atık gaz sıcaksa önemli olabilecek bir yoğunlaşma etkisi de olacaktır.

Proses suyu genellikle, darbeli jetler için kullanılır ve gaz akışında bulunan maddelerin çoğunu halihazırda farklı miktarlarda içerir haldedir. Bu, özellikle gaz halindeki maddelerin giderilme verimini etkileyecektir. Geri dönüştürülen proses suyu yeniden uygulanmadan önce filtrelendirir, ancak önemli seviyelerde çözünür malzeme içerecektir. Sistem dinamik bir dengededir ve proses suyu sistemi belgenin ilerleyen kısımlarında açıklanmıştır.

Elde edilen çevresel faydalar

Darbeli jetlerin ve siklonların kullanılması, şekillendirme alanının baca gazlarında önemli miktarlarda mevcut olan katı malzemenin, oldukça büyük hacimde ve lifli halde ve kolaylıkla çıkarılmasına olanak tanır. Bununla birlikte, ince parçacıkların uzaklaştırılmasındaki düşük verim nedeniyle, siklonlar ve darbeli jetler esasen ön arıtma tekniği olarak kullanılır. Nihai emisyonlar, bağlayıcı ve proses suyu kimyasına ve uygulanan bağlayıcı miktarına son derece bağlıdır.

Ortamlar arası etkiler

Dolgulu yataklı yıkama gibi başka bir teknik kullanılmadıkça, siklonlar (veya bazen alternatif bir cihaz), sürüklenen suyu çıkarmak için darbeli jetlerle birleştirilir. Bu, su tüketimini azaltmak ve kabul edilebilir düzeyde duman görünürlüğü ve dağılımı elde etmek için gereklidir. Diğer ıslak tekniklerin kullanıldığı yerlerde (örneğin ıslak ESP'ler veya dolgulu yataklı yıkama) darbeli jetler genellikle yukarı akış yönünde kullanılır.

İşletim verileri

Bu teknik kullanılarak elde edilen sonuçlar Tablo 4.40'ta verilmiştir.

Uygulanabilirlik

Bu teknik, prensipte tüm cam yünü ve taş yünü proseslerine uygulanabilir. Proses temizliği için gerekli görülmediğinden, birçok taş yünü fabrikasında kullanılmaz ve kullanılan diğer azaltma tekniklerini olumsuz yönde etkileyebilir. Şekillendirme alanı emisyonları için darbeli jetler ve siklonlar, cam yünü fabrikalarının yaklaşık %90'ında ve taş yünü fabrikalarının %10'unda kullanılmaktadır.

Ekonomi

Bu tekniğe ilişkin maliyetler Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Tekniğin bir azaltma tedbiri olarak maliyetini değerlendirmek zordur, çünkü darbeli jetlerin kullanıldığı yerlerde, bir tür temizleme mekanizması, sürecin doğal bir gereğidir. Tabloda verilen maliyetler, sistemin toplam maliyetini temsil etmektedir. Sadece kanalları temizlemeye yönelik sistem örnekleri yoktur, bunlar her zaman her iki amaç için kurulur. Gaz temizleme elemanının toplam maliyetin %60'ını temsil ettiği tahmin edilmektedir. Ancak, bu analiz kısmen teoriktir, zira çoğu Üye Devlette hiçbir azaltma uygulanmamış emisyonlara izin verilmeyecektir ve ilave azaltma maliyetleri ortaya çıkacaktır.

Uygulamanın itici gücü

Şekillendirme alanında bulunan katı malzemenin önemli bir kısmı oldukça büyük ve liflidir ve bu malzeme, özellikle cam yünü üretiminde darbeli jetler ve siklonlar kullanılarak kolayca çıkarılabilir.

Örnek tesisler

Bu teknik son derece yaygın olarak uygulandığından, örnek tesislerin belirtilmesi faydalı olmayacaktır.

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.1.2 Islak yıkayıcılar

Açıklama

Islak yıkama sistemleri, hem gaz hem de partikül emisyonlarını kontrol etmek için kullanılabilir. Partikül ve gaz giderme için kullanılan temel teknoloji benzer olsa da, tasarım kriterleri çok farklıdır. Bununla birlikte, sermaye maliyetlerini düşük tutmak amacıyla, genellikle karışık partikül ve gaz emisyonlarının kontrol altına alınması için ıslak yıkama sistemleri kullanılır. Bu tasarımın seçimi, kaçınılmaz olarak bir ödün verildiği anlamına gelir; ancak ayrı kontrol sistemlerinin çok pahalı olduğu durumlarda MET'i temsil edebilir. Islak yıkama, iyi belgelenmiş bir tekniktir ve burada yalnızca temel prensipleri ile sektöre özgü konular tartışılmaktadır.

Sıvı yıkama ile partikül toplama üç temel mekanizma ile gerçekleşir; bunlar eylemsiz sıkıştırma, durdurma ve difüzyondur. Islak yıkama ile iz miktarda gazı uzaklaştırma, absorpsiyon ve daha az ölçüde yoğunlaşma ile gerçekleşir. Absorpsiyonda, bir gaz-sıvı temas cihazında çözünür bir gaz ve bir çözücü arasında kütle transferini gerçekleşir.

Islak yıkayıcıların partikül toplama verimliliği, özellikle toplama bölgesindeki basınç düşüşü olmak üzere toplam enerji kullanımına son derece bağlıdır. Sıvı, yıkayıcı içinde eşit olarak dağıtılmış ise, benzer basınç düşüşleri, farklı yıkayıcı tasarımlarında aynı toz için genellikle benzer verimlilikler sağlar. Bu nedenle, 1 µm ve altındaki partikül çaplarında yüksek verime sahip olan ve yüksek basınç düşüşü olmayan bir ıslak yıkayıcı tasarlamak mümkün değildir. Yüksek enerjili yıkayıcılar, <0,5 µm çapındaki partiküller için iyi bir toplama verimliliği sağlayabilir, ancak yüksek çalıştırma maliyeti, alternatif tekniklerin daha ekonomik olabileceği anlamına gelir. Gaz absorpsiyonunun etkinliği; atık gaz akımındaki çözünür gazın kısmi basıncı ile sıvıdaki gazın buhar basıncı arasındaki farka, gazın sıvı içindeki çözünürlüğüne, yüzey temas alanına ve daha az ölçüde, temas süresine bağlıdır. Atık gaz sıcaksa önemli olabilecek bir yoğunlaşma etkisi de olacaktır. Çözünürlük doğal olarak gaza ve sıvıya bağlıdır. Su; hidrojen klorür, hidrojen florür, silikon hekzaflorür gibi çözünür asidik gazların ve amonyakın absorpsiyonu için uygundur. Alkali veya asit çözeltiler, daha az çözünür gazların absorpsiyonu için uygundur ve bazı uygulamalarda oksitleyici çözeltiler organik kokuların kontrol altına

alınmasını sağlayabilir. Yüzey alanı, dolgu malzemesi veya damlacık boyutuna göre belirlenir. Dolgulu yataklı yıkayıcılar, destek ızgaraları üzerindeki bir dolgu malzemesi yatağını içeren bir dış kabuk, sıvı dağıtıcılar, gaz ve sıvı giriş ve çıkışları ve buğu gidericiden oluşur. Sıvı, gaz/sıvı teması için geniş bir yüzey alanı sağlayan bir film oluşturan dolgu malzemesi üzerine sürekli olarak dağıtılır. Kirli gaz, dolgulu yatak boyunca akar, sıvı ve gaz akışı ters, eş veya çapraz yönlü olabilir. Çeşitli dolgu malzemesi türleri vardır ve bunlar düzenli veya rastgele şekilde doldurulmuş olabilir. Dolgu malzemesi üzerindeki sıvı film, kütle transferi için geniş bir yüzey alanı sağlar. Karşı akımlı dolgulu yataklı emicilerde, dolgulu yataktan çıkan gaz taze soğurucu sıvıyla karşılaştığından, emilimin itici gücü en üst düzeye çıkarılır. Dolgulu yataklar, çözünmeyen partikül madde, pul ve biyolojik büyüme ile tıkanabilir.

Bazı uygulamalarda venturi yıkayıcılar değerlendirilebilir. Venturi yıkayıcıların karakteristik özelliği, kanala (venturi boğazı) doğru daralma ile gaz hızında bir artış olmasıdır. Sıvı temizleyiciye verilir ve duvarlarda bir film oluşturur, bu film venturi boğazındaki gaz akımıyla atomize edilir. Venturi yıkayıcının verimliliği yüksek basınç düşüşüne bağlıdır ve dolayısıyla yüksek enerji tüketimine ve işletme maliyetlerine sebep olur. Venturi yıkayıcılar, mikron altı partiküller için uygun olduklarından, genellikle partikül toplama için en verimli ıslak yıkama cihazlarıdır. İz miktarda gaz giderimi için de kullanılabilirler ancak verimlilikleri, düşük temas süresi nedeniyle sınırlıdır.

Sektörde en yaygın olarak karşılaşılan ıslak yıkayıcılar, genellikle yukarı yönde darbeli jetlerle birlikte kullanılan dolgulu yataklı yıkayıcılardır. Darbeli jetler daha büyük partikül maddeleri uzaklaştırır ve böylece dolgunun tıkanmasını önlemeye yardımcı olur. Bazı operatörler iyonlaştırıcı ıslak yıkayıcıları (IWS) kurmuşlardır; bunlar, ıslak yıkayıcıların düşük sermaye maliyeti ile elektrostatik toz tutucuların düşük işletme maliyeti avantajlarını birleştirmeyi amaçlar. IWS, temelde, nötr yük durumunda tutulan ve öncesinde partikülleri yüklemek için bir iyonlaştırıcı bölüm bulunan bir dolgulu yataklı yıkayıcıdır. Yatak normalde plastik dolgudan oluşur. Partiküllerin dolgu elemanlarına yakın halde mümkün olduğu kadar uzun zaman geçirmesini sağlamak için, yatak içerisindeki gaz hızları düşüktür.

Şekillendirme alanından çıkan atık gaz, verimli bir yıkama sisteminde su ile temas ettiğinde aşağıdaki olaylar meydana gelecektir:

- gelen partikül maddenin bir kısmı, özellikle daha büyük partiküller ve damlacıklar süspansiyonda tutulacak,
- herhangi çözünür reçineli malzemenin bir kısmı su tarafından emilecek, ve
- uçucu maddeler gazlı ve sulu fazlar arasında bir denge oluşturacaktır.

Proses suyu, sektörde en yaygın kullanılan temizleyici sıvısıdır. Bu, etkili absorpsiyon sağlamak ve gaz fazına geri salımı önlemek için yıkama ortamındaki uçucu malzeme konsantrasyonlarının yeterince düşük seviyede tutulması problemini ortaya çıkarır. Maden pamuğu üretim süreci net bir su tüketicisidir ve yıkayıcıdaki sisteme temiz su ilavesi yapılarak yıkayıcının performansı iyileştirilebilir. Bu iyileştirme, suyun kademeler arasında akarken gaza karşı yönde hareket ettiği, kombine bir çok aşamalı yıkama işlemi kullanılarak optimize edilebilir. Bu şekilde, gelen (en kirli) gaz akışını temizlemek için en kirli su kullanılır ve temiz su, son fırçalama aşamasında kullanılır. Cam yünü üretiminde kullanılan tipik bir su devresinin tanımı 2.9.1 kısmındaki Şekil 2.11'de sunulmuştur.

Sorunun olası bir çözümü, yıkama ortamının proses suyu sisteminden ayrıldıktan sonra, ya verimli absorpsiyonu sürdürmek için yeterince temiz bir su kullanmak, ya da temizleme sıvısına uçucu türlerle tepkimeye giren maddelerle kimyasal dozlama yapmak olacaktır. Ancak, her iki yaklaşımın da önemli sınırlamaları vardır. Önemli ölçüde daha iyi bir performans elde etmek için temiz su sistemi kullanılması, tasfiyenin hacminin proses suyu sistemine geri dönüştürülemeyecek kadar büyük olmasına ve ayrıca arıtılması gereken yeni bir atık akışının ortaya çıkmasına yol açacaktır. Darbeli jetlerden gelen su hacmi bu sorunu daha da kötüleştirecektir.

Atık gazın su içeriği ve reçineli olması, yüksek hacimli bir tasfiye suyu kullanılmadığı sürece kimyasal yıkayıcıda tıkanmaya ve yıkama sıvısı hacmi sorunlarına neden olacaktır. Kimyasal içerikleri nedeniyle, bunların hiçbirisi proses suyu sistemine geri dönüştürülemez; bu da yine ayrı arıtma gerektiren yeni bir

atık akışına yol açar. Diğer bir komplikasyon ise fenol/formaldehit ve amonyakı uzaklaştırmak için gerekli kimyasal reaktiflerin uyumsuz olması ve ayrı aşamalar gerektirmesidir. Kimyasal yıkama aşamaları, proses suyu yıkayıcısı ile birbiri ardına konumlandırılabilir, ancak bu, maliyetleri büyük ölçüde artıracaktır ve son derece verimli olmadığı sürece, tartışılan sorunların üstesinden gelemeyecektir. Ayrıca, sulu atık akışı düşünüldüğünde, böyle bir teknik ile iyi işlem kontrolü olan bir proses suyu yıkayıcı arasındaki genel emisyonlardaki fark, muhtemelen sınırlı olacaktır.

Kombine bir ünite veya ayrı ünitelerde çok aşamalı yıkama, teoride, şekillendirme alanı ve kombine şekillendirme ve kondenzasyon fırını emisyonları için potansiyel bir seçenektir. Bununla birlikte, hiçbir maden pamuğu sürecinde çok aşamalı yıkayıcılar çalıştırmamaktadır; bu nedenle bunların çevresel performansı, maliyetleri veya potansiyel işletim sorunları hakkında mevcut bilgi yoktur. Dolayısıyla bu teknik şu anda tamamen kullanılabilir olarak değerlendirilmemektedir. Bununla birlikte, özellikle bir tesiste hat emisyonları çok yüksek ise, bir seçenek olarak göz önünde bulundurulabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Maden pamuğu endüstrisinde dolgu yataklı yıkayıcılarla (yıkama sıvısı olarak proses suyuyla) elde edilmesi mümkün olan emisyon seviyeleri Tablo 4.40'da verilmiştir.

Ortamlar arası etkiler

Sulu yıkayıcılar konusunda önemli bir nokta, arıtma gerektiren sulu bir atık akışı oluşturma potansiyel ortamlar arası etkisidir. Maden pamuğu sektöründe bu problem, proses suyunun yıkama aracı olarak kullanılması ve %100 oranında proses suyu sistemine geri dönüştürülmesi ile çözülmüştür. Temiz su veya kimyasal temizleyicilerin kullanılması sulu bir atık akışına neden olacaktır (bkz. 2.9.1 kısmındaki Şekil 2.11).

İşletim verileri

Giderme etkinliği, partiküller için düşük basınç düşüşü ile, gaz halindeki maddeler için yıkama ortamı olarak proses suyunun kullanılmasıyla sınırlıdır. Temiz suyla yıkamayla fenol, formaldehit ve amonyak için önemli ölçüde daha düşük emisyon seviyeleri beklenir. Proses suyu dengesi kritik bir faktördür ve bazı nadir durumlarda (örn. uzun süre yüksek bağlayıcı sonrası düşük bağlayıcı ürün) yıkayıcının verimliliğinin gazlı bileşenler için olumsuz olabilmesi mümkündür.

Son yıllarda bazı operatörler iyonlaştırıcı ıslak yıkayıcılar kullanmaya başlamış, ancak genel sonuçlar hayal kırıklığı yaratmıştır. Dolgu yataklı yıkayıcılara göre verimlilikteki iyileşmeler genellikle % 10'dan az olmuştur.

Bu sektörde, kimyasal veya çok aşamalı temizleme konusunda deneyim yoktur; ancak kimya sanayiindeki deneyimler, ilgili problemlerin çözülebilmesi halinde fenol, formaldehit ve amonyak için 10 mg/Nm³'ün altındaki emisyonların kolayca elde edilebileceğini göstermektedir. Bu, Tablo 4.40'da gösterilen verilerle karşılaştırıldığında, yalnızca amonyak için önemli bir iyileşmeye işaret eder.

Uygulanabilirlik

Prensip, proses suyunu sirküle eden dolgu yataklı yıkayıcılar, sektördeki tüm proseslere uygulanabilir. Teknik, yeni tesisler veya önemli modifikasyonlar ile sınırlı değildir, ancak mevcut tesisler için maliyetlerin daha yüksek olması muhtemeldir. Özellikle taş yünü gibi bazı uygulamalarda, benzer veya daha düşük emisyon seviyelerine ulaşmak için başka teknikler kullanılabilir.

Cam yünü üretiminde, tesislerin neredeyse %20'si, ya kombine şekillendirme alanı ve kondenzasyon fırını emisyonları için, ya da sadece şekillendirme alanı için dolgulu yataklı yıkayıcılar kullanmaktadır. Taş yünü üretiminde, şekillendirme alanı emisyonları için tesislerin yaklaşık % 10'unda dolgulu yataklı yıkayıcılar kullanılmaktadır; kondenzasyon alanı emisyonları konusunda da durum aynıdır. Taş yünü tesislerinde, bu iki bölgeden gelen emisyonlar genellikle birleştirilmez.

Ekonomi

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesisin büyüklüğüne bağlıdır. İyonlaştırıcı ıslak yıkayıcılardaki (IWS) gibi bir iyonlaştırıcı aşamanın dâhil edilmesi, sermaye maliyetlerinde yaklaşık % 75'lik, işletme maliyetlerinde yaklaşık % 10'luk bir artışı beraberinde getirecektir. Çok aşamalı kimyasal temizlemenin maliyetinin, tabloda verilen toplamaların iki katına kadar olması beklenebilir. Kombine çok aşamalı bir temizleyicinin maliyeti, muhtemelen IWS sistemininkine daha yakın olacaktır. Bununla birlikte, aşamaları tamamen ayırmak gerekli olacaktır ve bu da maliyeti arttıracaktır. Ayrıca daha pahalı korozyona dayanıklı malzemeler gerekli olabilir.

Uygulamanın itici gücü

Bu tekniğin faydası, şekillendirme alanı ve kondenzasyon fırını emisyonlarını tek bir işlem aşamasında birleştirme fırsatıdır. Şekillendirme alanından gelen atık gazın hacmi, genellikle kondenzasyon fırınından gelenin hacminden on kat daha büyüktür. Atık gazların kombinasyonu, tasarım aşamasında uygulandığı takdirde tekniğin toplam maliyetini önemli miktarda arttırmaz.

Örnek tesisler

Knauf Insulation, St.Helens, Birleşik Krallık

URSA, İspanya

Isover Orange, Fransa

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.1.3 Islak elektrostatik toz tutucular

Açıklama

ESP'lerin temel prensipleri ve işleyişi 4.4.1.2'de açıklanmıştır. Islak toz tutucularda, toplanan malzeme toplayıcı plakalardan genellikle su gibi uygun bir sıvı kullanılarak, aralıklı olarak ya da sürekli sulama ile uzaklaştırılır. Üç temel plaka tipi plaka-tel, plaka-plaka ve boru-teldir ve bunların tümü ıslak çalıştırılabilir. Plakalı tiplerde gaz akışı yataydır, borulu tasarımlarda gaz akışı dikeydir ve sıvı, gaza karşı yönde akar. Bazı daha sağlam tasarımlarda tellerin yerini çubuklar alır. Boşaltılmadan önce su damlacıklarını gidermek için genellikle bir mekanizma mevcuttur; bu, buğu giderici olabilir veya son alan kuru şekilde çalıştırılabilir.

Genel olarak kuru toz tutucular tercih edilse de, ıslak toz tutucular çiglenme noktasına yakın sıcaklıklardaki ıslak gazların tozunun giderilmesinde ve sıvı aerosollerin ve reçineli parçacıklar ve katranlar gibi yapışkan malzemelerin toplanmasında kullanışlıdır. Islak toz tutucuların performansı, gazda bulunan nem kolayca çökerek zor tozların ayrılmasına yardımcı olacağından, parçacık özelliklerine daha az bağlıdır.

Borulu üniteler en çok ıslak uygulamalarda kullanılır ve katran var olması halinde, patlamaya dirençli hale getirilmeleri kolaydır. Bununla birlikte, borulu üniteler genellikle yalnızca tek bir elektrik alanına sahiptir ve çok yüksek verimlilikler elde etmeye daha az uygundur. Maden pamuğu imalatında her üç tip de kullanılmıştır, ancak artık plaka-tel ve boru-tel tipleri tercih edilmektedir. Genellikle, yangınları söndürmek için bir su sistemi kurulur.

Islak elektrostatik toz tutucunun (WESP) girişinde, egzoz gazları, tüm elemanlar arasında tek tip ve düşük bir gaz hızı oluşturmak için iyi bir şekilde dağıtılmalıdır. Atık gaz, ESP'nin yukarı akış yönündeki darbeli jetler tarafından koşullandırılır, büyük lifli malzemeler çıkarılır ve gaz doyurulur ve soğutulur.

Tasarım parametreleri dahilinde çalışmasını sağlamak için ayrıca temiz su da kullanılır; bu su doygunluğu sağlamak için ESP girişine püskürtülür ve elektrotların temizlenmesi için kullanılır. Cam yünü proseslerinde, bu suyun hacmi genellikle proses suyu devresine boşaltılabilecek kadar düşüktür ve devredeki asıl su eklemesini temsil edebilir. Taş yünü işlemlerinin çoğunda, şekillendirme işleminden kaynaklanan buharlaşma potansiyeli çok daha azdır ve böyle bir hacimde temiz su kullanmak mümkün değildir.

Elde edilen çevresel faydalar

Islak EP'ler, 0,01 µm ila 10 µm boyut aralığındaki partikül madde, aerosol ve damlacıkların uzaklaştırılmasında etkilidir. Performans, bir dizi faktöre, özellikle gaz hızına bağlı olacaktır. Yeni, amaca yönelik tasarlanmış bir ıslak ESP, >1µm çapındaki toplam partikül madde için >%98'lik bir temizleme verimliliği sağlamaktadır, ancak <1µm çapındaki partiküller için uzaklaştırma verimliliği çok daha düşüktür. Ekipmanın kullanım ömrü boyunca performans düşebilir ve bakım çok önemlidir.

Islak ESP'lerin etkinliği, gaz halindeki maddelerin uzaklaştırılmasında genellikle sınırlıdır. Bu, büyük ölçüde ürün yelpazesine, bağlayıcı ve proses suyu kimyasına bağlıdır. Bununla birlikte, yüksek derecede doygunluk ve önemli miktarda temiz su kullanımı nedeniyle, gaz halindeki maddeler belirli bir miktarda emilir.

Cam yünü üreten örnek bir tesise ilişkin veriler Tablo 4.36'da gösterilmektedir. Tesis, bir ıslak yıkayıcı, bir siklonlu ayırıcı ve organik kirleticilerin uzaklaştırılması için biyolojik arıtma ile birlikte kullanılan bir WESP'den oluşan, gelişmiş bir hava kirliliği kontrol sistemi ile donatılmıştır.

Tablo 4.36: Bir cam yünü tesisinin şekillendirme alanından salınan katı ve gaz emisyonları

Cam yünü üretimi - Şekillendirme alanı		
Üretim kapasitesi: 36000 - 38000 ton/yıl		
Baca gazı hacmi: 191707 Nm ³ /s		
Kirlilik önleme sistemi: ıslak yıkayıcı, siklonlu ayırıcı, emmeli havalandırma, altı dikey yıkama kulesiyle biyolojik arıtma, WESP'li üç alan		
	Emisyon seviyeleri ⁽¹⁾ (mg/Nm ³)	Kütle akışı (kg/saat)
Formaldehit + fenol	4,3	0,82
Toplam organik bileşikler (TOB), C olarak	4,4	0,84
Partikül madde	21	4,03
Amonyak (NH ₃)	18	3,45
HF	< 0,02	< 0,004
HCl	7	1,3
SO ₂	~ 3	~ 0,6
NO _x (NO ₂ olarak)	9,9	1,9
Bakır (Cu)	0,0217	0,004
Manganez (Mn)	0,0381	0,007
Koku ölçümü	64 ouE/m ³	
⁽¹⁾ Süreksiz ölçümlerde elde edilen emisyon değerleri (4 - 6 yarım saatlik ölçümlerin ortalama değeri, ölçülen %20,5'lik O ₂ ile ifade edilir)		
Kaynak: [112, Avusturya Slass yün fabrikası 2006]		

Ortamlar arası etkiler

WESP'lerin kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.37'de sunulmaktadır.

Tablo 4.37: Islak elektrostatik toz tutucuların (WESP'ler) başlıca avantajları ve dezavantajları

Avantajlar: • partiküller ve damlacıklar/aerosoller için $<20 \text{ mg/m}^3$ lük, iyi seviyelerde giderme verimlilikleri elde edilebilir • yüksek doyumluk ve temiz su kullanımı ile, gaz halindeki maddenin absorpsiyonu mümkündür • şekillendirme ve kondenzasyon emisyonlarına uygulanabilir • düşük basınç düşüşü dolayısıyla işletme maliyetleri ve enerji kullanımı nispeten düşüktür • büyük, lifli maddeleri gidermek için darbeli püskürtücüler kullanılıyorsa tıkanmalar nadirdir • bakım gereksinimi düşük, çalışma ömrü uzundur Dezavantajlar: • genellikle cam yünü içinde geri dönüştürülebilir olan, ancak taş yünü üretiminde bu imkanın daha az olduğu bir sulu atık üretilir • gaz halindeki maddeleri giderme verimliliği genellikle düşüktür • enerji tüketilir, ancak bu, diğer proses gereksinimlerine kıyasla nispeten düşüktür • yüksek konsantrasyonlarda CO mevcut olduğunda (örn. taş yünü üretimi), uygulanabilir olmayabilir • sermaye maliyetleri nispeten yüksektir • alan gereksinimi yüksektir • bakım ihtiyacı düşük ancak kritik öneme sahiptir; kötü bakım, performansta önemli azalmalara sebep olur • yüksek voltaj, güvenlik gereksinimlerini beraberinde getirir

İşletim verileri

Bu teknik kullanılarak elde edilebilecek değerler Tablo 4.40'da verilmiştir.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak bu teknik, yeni ve mevcut cam ve taş yünü proseslerine uygulanabilir. Taş yünü için en büyük dezavantaj, sulu atık akışının bertarafının potansiyel zorluğudur. Teknik, hem ayrı ayrı hem de birlikte olmak üzere, şekillendirme alanı ve kondenzasyon fırın emisyonları için uygundur. 1997'de cam yünü tesislerinin yaklaşık % 30'u bu tekniği ayrı veya birleşik şekillendirme ve kondenzasyon fırın emisyonları için kullanmakta idi. Hiçbir taş yünü fabrikasında ıslak EP'ler çalıştırılmamaktaydı.

Ekonomi

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesisin büyüklüğüne bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Genel olarak, uygulamanın temel itici gücü yasal emisyon limitlerine ulaşılmasıdır. Ortam havasının kalitesiyle ilgili hususlar da bu tekniğin uygulanmasına sebep olabilir.

Örnek tesisler

Knauf Insulation, St.Helens, Birleşik Krallık
 Saint-Gobain Isover G + H AG, Almanya
 Saint-Gobain Isover Etten-Leur, Hollanda
 Saint-Gobain Isover, Stockerau, Avusturya

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.1.4 Taş yünü filtreleri

Açıklama

Geleneksel pasif filtreleme işlemleri (örneğin torba filtreler), şekillendirme alanından ve kondenzasyon fırını işlemlerinden çıkan atık gazların arıtılması için uygun değildir.

Atık gaz yapışkan ve kimi zaman nemli olduğundan, yoğun temizlik ve bakım çalışmaları yapıldığında dahi hızlı körleşme meydana gelecektir. Şekillendirme işlemlerinin genellikle kuru olduğu taş yünü faaliyetlerinde, taş yünü filtre plakaları kullanılabilir. Bunlar, kasetlere monte edilmiş taş yünü plakaların filtreleme ortamı olarak görev yaptığı, çelik veya beton bir muhafazadan oluşur. Bu tip filtreler, partikül madde ve bağlayıcı damlacıklar için iyi bir giderme verimliliğine sahiptir, ancak gazlı bileşenlerin giderilmesinde verimlilikleri düşüktür. Partikül giderme verimliliğini korumak ve hava akışına karşı direncin artmasını önlemek için filtreleme ortamının periyodik olarak temizlenmesi veya değiştirilmesi gerekir. Tesiste briketleme işlemi mevcutsa, kullanılmış filtre plakaları genellikle fırına geri dönüştürülebilir.

İşletim yarı kuru bazda olabilir, ancak tamamen kuru olduğu takdirde genel verimlilik büyük ölçüde artar. Her iki sistem de sulu bir atık akışı oluşturmaz ve nemli filtre plakaları bir briketleme işlemiyle kolayca geri dönüştürülebilir.

Bu tasarımın geçmişteki bir versiyonu, filtre ortamı olarak taş yünü rulolarının kullanıldığı bir kule filtreyi baz almaktaydı. Bu teknik daha az verimlidir ve büyük ölçüde yerine kasetlere monte edilmiş plakaların olduğu tasarım geçmiştir. Kule filtre tasarımı, daha nemli, daha yüksek bağlayıcı içerikli atık gazlar için daha uygundu, ancak darbeli jetlerle arıtılan atık gazları kaldıramamıştır.

Elde edilen çevresel faydalar

Taş yünü filtreler, partikül maddeleri ve damlacıkları/aerosollerini gidermede çok etkilidir. Bu teknik kullanılarak elde edilebilecek emisyon değerleri Tablo 4.40'da verilmiştir. Tekniğin gaz halindeki maddeler üzerinde önemli bir etkisi yoktur, ancak birincil kontroller (örn. kuru çalışma) ve düşük aerosol emisyonu ile birlikte tabloda gösterilen seviyelere ulaşılır. Bu, aynı zamanda bu tip filtre ile çok düşük duman görünürlüğü elde edilmesini sağlar (ayrıca bkz. 4.5.6.2.5 kısmı).

Ortamlar arası etkiler

Taş yünü filtrelerin kullanımıyla ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.38'de sunulmaktadır.

Tablo 4.38: Taş yünü filtrelerin temel avantajları ve dezavantajları

<u>Avantajlar:</u> • Partiküller için $<20 \text{ mg/m}^3$ lük, iyi seviyelerde giderme verimlilikleri elde edilebilir • Sistemler mevcutsa, kullanılmış filtre plakaları prosese geri dönüştürülebilir • Sulu atık oluşmaz • Sermaye maliyeti düşüktür • düşük basınç düşüşü dolayısıyla işletme maliyetleri ve enerji kullanımı nispeten düşüktür <u>Dezavantajlar:</u> • Enerji tüketilir, ancak bu, diğer ikincil tekniklere kıyasla nispeten düşüktür • Gaz halindeki maddeler için giderme etkinliği sınırlıdır • Cam yünü prosesleri için uygulanabilir olarak kabul edilmez

İşletim verileri

Herhangi bir bilgi verilmemiştir.

Uygulanabilirlik

Teknik, taş yünü kondenzasyon fırınlarında giderek daha fazla uygulanmasına rağmen, esas olarak taş yünü proseslerinin şekillendirme alanlarıyla sınırlıdır (bkz. 4.5.6.2.5). Bu teknik hem yeni, hem de mevcut taş yünü proseslerine uygulanabilir.

Taş yünü proseslerinin %90'ından fazlasında şekillendirme alanı atık gazlarının, yaklaşık %30'unda kondenzasyon fırını emisyonlarının ve yaklaşık %40'ında soğutma gazlarının arıtılması için kullanılmaktadır. Geçmişte taş yünü kondenzasyon fırınlarının sınırlı ölçüde kullanılmasının nedeni, kısmen gazın yüksek sıcaklığı, kısmen de yaygın olarak atık gaz yakmanın uygulanmasıydı. Bununla birlikte, güncel olarak pasif taş yünü filtre kullanımı, kondenzasyon fırınları için tercih edilen bir teknik olarak kabul edilebilir.

Tekniğin cam yünü proseslerinde bilinen uygulamaları yoktur. Bunun temel nedenleri aşağıda tartışılmıştır.

Cam yünü üretiminin sürekli yapısı, ekstraksiyon kanallarında ve fanda malzeme birikmesini önlemek için sürekli bir temizleme mekanizmasının kullanılmasını gerektirir. Uygulanan normal teknik, darbeli jetlerin kullanılmasıdır. Bunlar genellikle taş yünü üretiminde kullanılmaz, çünkü işlemin sürekli olmaması, kanalların temizlenmesine imkan sağlar. Ayrıca taş yünü üretimi, nispeten daha az bağlayıcı kullanımı içerir ve bu nedenle malzeme birikimi daha yavaştır.

Taş yünü işleminde, elyaf genellikle sabit kalınlıkta bir keçe olarak bir araya getirilir ve daha sonra istenen ürün özelliklerini vermek için ayrı bir şekillendirme konveyöründe katmanlanır. Başlangıçta keçe incedir, yalnızca düşük, sabit bir basınç düşüşü uygular ve nispeten düşük hacimli tek bir ekstraksiyon sisteminin kullanımına izin verir. Cam yünü imalatında tek bir konveyör şekillendirme sistemi kullanılmaktadır. Keçe kalınlığı şekillendirme konveyörü boyunca artar ve ürüne bağlı olarak değişir. Diferansiyel basınçta konveyör boyunca meydana gelen değişim, farklı kapasitede birkaç ekstraksiyon sisteminin kullanılmasını gerektirir ve genel hava ekstraksiyonu makul ölçüde yüksek basınçlı, değişken ve kontrol edilebilir olmalıdır. Ekstraksiyon seviyesi ve dağıtımı, proses operatörleri arasında sıklıkla değişen önemli bir proses kontrol aracıdır. Cam yünü atık gazının değişken daha yüksek hacmi ve yüksek basınç koşulları, filtrasyon sistemleri için ideal değildir.

Cam yünü şekillendirme alanı atık gazının suya doymuş yüksek bağlayıcı içeriği, taş yünü filtrenin hızla tıkanmasına neden olur. Bu, filtre ortamının sık sık değiştirilmesini gerektirecek ve geri dönüştürülmesi veya bertaraf edilmesi gereken, yüksek düzeyde ıslak atığa yol açacaktır.

Cam yünü proseslerinde maden pamuğu filtrelerinin kullanımıyla ilgili bir diğer komplikasyon ise, malzemenin fırına geri dönüştürülmesinin daha zor olmasıdır. Lifli atıkların maden pamuğu fırınlarına geri dönüşümü 4.7'de tartışılmaktadır.

Ekonomi

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Sermaye maliyetleri son derece düşüktür, ayrıca basınç düşüşünün az olması sebebiyle işletme maliyetleri de diğer geleneksel filtre sistemlerine kıyasla daha azdır.

Uygulamanın itici gücü

Taşyünü filtreler, nispeten düşük yatırım ve işletme maliyetleri ve düşük enerji kullanımı ile partikül madde ve damlacıkların/aerosollerin giderilmesinde son derece verimlidir.

Örnek tesisler

Rockwool Lapinus, Roermond, Hollanda
Partek Rockwool AB, Hällekis, İsveç

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.2 Kondenzasyon Fırını

Islak ürün keçe, yaklaşık 250°C'lik fırına girer. Nem, herhangi bir uçucu malzeme ile birlikte uzaklaştırılır ve bağlayıcı kürlenmeye başlar. Fırındaki sıcaklık ve kalma süresi kritiktir.

Bağlayıcı uygun şekilde çapraz bağlanmalıdır, ancak aşırı kürlenmemelidir; aksi takdirde ürün kalitesi düşer. Fırından çıkan emisyonlar, uçucu bağlayıcı maddeleri, bağlayıcının bozunma ürünleri ve fırın brülörlerinden çıkan yanma ürünlerinden oluşacaktır. Genel olarak, cam yünü ürünleri, taş yünü ürünlerden daha yüksek bağlayıcı seviyelerine sahiptir ve dolayısıyla daha yüksek emisyonlara neden olur. Ek olarak, fırın emisyonları, işlemden geçirilmezse kokulu olma eğilimindedir.

Fırın genellikle gazla çalışır ve ekstraksiyon altındadır. Fırın emisyonları yapışkandır ve özellikle cam yünü fırınlarında ekstraksiyon sisteminde yanıcı materyalin birikmesi nedeniyle potansiyel bir yangın riski teşkil eder. Yangınları önlemek için gaz akışı ya suyla yıkanmalıdır, ya da kirleticilerin yapışkanlığını gidermek için ek ısı sağlanmalıdır. Atık gaz yakmanın olmadığı bu işlemlerde, reçineli materyal birikimini ve yangınları önlemek için genellikle ekstraksiyon kanalına su püskürtülür. Su spreyleri aynı zamanda gaz akımına katılan materyalin bir kısmını da uzaklaştıracaktır.

4.5.6.2.1 Darbeli jetler ve siklonlar

Açıklama

Teknik, yukarıdaki 4.5.6.1.1 kısmında açıklanmıştır, ancak dikkate alınması gereken bir takım diğer konular da vardır. Fırından çıkan atık gaz, şekillendirme alanı atık gazından çok daha düşük bir hacme ve daha yüksek bir sıcaklığa sahiptir. Bu nedenle, özellikle cam yünü işlemlerinde, kanal sisteminde reçineli malzeme birikimi, yangın ve hatta patlama riski teşkil eder. Gaza püskürtülen suyun önemli bir soğutma etkisi vardır ve bu şekilde atık gazdaki bazı maddeler yoğunlaştırılır. Bu, maddelerin mutlaka uzaklaştırıldığı anlamına gelmez ve sistemin ilk bölümlerinde, malzeme kirli proses suyundan buharlaşacaktır.

Elde edilen çevresel faydalar

Sistemdeki düşük basınç düşüşü nedeniyle, ince partikül madde giderme verimliliği oldukça düşüktür; bununla birlikte, darbeli jetlerin ve siklonların kullanılması, bazı maddelerin yoğunlaşmasını teşvik ederek, kanalda birikinti oluşumunu ve bunlar nedeniyle atmosfere salınan emisyonlar ile ortaya çıkan yangın riskini önler. Şekillendirme alanında olduğu gibi, sistem dinamik bir dengedir ve gaz halindeki emisyonlar büyük ölçüde proses suyu ve bağlayıcı kimyasına bağlıdır.

Ortamlar arası etkiler

Sürüklenen suyu çıkarmak için başka bir teknik (örn. dolgulu yatak, siklon, buğu çözücü) kullanılmadığı sürece, teknik yüksek su tüketimine ve buğu emisyonlarına neden olabilir.

İşletim verileri

Bu teknik kullanılarak elde edilen emisyon değerleri Tablo 4.40'ta verilmiştir.

Uygulanabilirlik

Şekillendirme alanı için bu teknik, prensipte tüm maden pamuğu proseslerine uygulanabilir. Proses temizliği için gerekli görülmemesi ve kullanılan diğer azaltma tekniklerini olumsuz yönde etkileyebilecek olması nedeniyle birçok taş yünü fabrikasında kullanılmaz. Darbeli jetler ve siklonlar, cam yünü fabrikalarının yaklaşık % 90'ındaki kondenzasyon fırınlarında, genellikle birleştirilmiş şekillendirme ve kondenzasyon baca gazları için yaygın olarak uygulanmaktadır. Teknik, diğer tekniklerle bağlantılı olarak bir ön arıtma olarak kullanılır.

Ekonomi

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Maliyetin ne kadarının azaltmanın maliyeti olarak kabul edilebileceği ile ilgili konular, şekillendirme alanı ile aynıdır.

Uygulamanın itici gücü

Özellikle cam yünü işlemlerinde, kanal sisteminde reçineli malzeme birikimi, yangın ve hatta patlama riski teşkil eder. Gaza püskürtülen suyun önemli bir soğutma etkisi vardır ve bu şekilde atık gazdaki bazı maddeler yoğunlaştırılır.

Örnek tesisler

Bu teknik son derece yaygın olarak uygulandığından, örnek tesislerin belirtilmesi faydalı olmayacaktır.

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.2.2 Islak yıkayıcılar

Bu teknik, 4.5.6.1.2'de şekillendirme alanı için açıklanmıştır ve tartışılan noktalar, fırın emisyonları için de geçerlidir. Islak yıkayıcılar ile arıtılan kondenzasyon fırını emisyonları için temel hususlar, hacimlerin çok daha az olması ve kirletici konsantrasyonlarının farklı olmasıdır; genel olarak partikül madde miktarı daha düşüktür, fenol benzer seviyededir, ancak amonyak ve formaldehit önemli ölçüde daha yüksektir.

Maden pamuğu endüstrisinde dolgulu yataklı yıkayıcılarla (yıkama sıvısı olarak proses suyuyla) elde edilmesi mümkün olan emisyon seviyeleri Tablo 4.40'da verilmiştir, tartışma için bkz. 4.5.6.1.2. Fırın emisyonları, şekillendirme alanı emisyonlarına kıyasla nispeten daha yüksektir, bu nedenle genel verimlilik daha yüksek olabilir. Bu da yine kullanılan temiz su miktarına ve bağlayıcı ve proses suyu kimyasına bağlı olacaktır.

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Verilen maliyetler, şekillendirme ve kondenzasyon kombinasyonundan kaynaklanan emisyonlar içindir. Kondenzasyon fırını emisyonu örneklerinin büyük bölümü, kombine emisyonlar için ıslak yıkayıcılar ile arıtılır ve hacmin düşük olması nedeniyle ilave maliyet genellikle düşüktür. Maliyet için verilen varyasyonlar, büyük ölçüde hava akışı ile ilgilidir; maliyet azaltılarak yalnızca kondenzasyon fırını emisyonlarının arıtılmasına ilişkin kaba bir tahmin yapılabilir, ancak maliyet ilişkisi doğrusal değildir.

Prensipte, teknik tüm tesislere uygulanabilir (tartışma için bkz. 4.5.6.1.2).

4.5.6.2.3 Islak elektrostatik toz tutucular

Bu teknik, 4.5.6.1.3'de şekillendirme alanı için açıklanmıştır ve tartışılan noktalar, fırın emisyonları için de geçerlidir. Sadece fırın emisyonlarını arıtmak için ıslak elektrostatik toz tutucuların (WESP'ler) kullanımı yaygın değildir ve sistemler genellikle kombine emisyonlara yöneliktir. Gazlı ve kokulu madde konsantrasyonlarının fırın atık gazlarında nispeten daha yüksek olması nedeniyle WESP, tek başına fırın emisyonları için azaltma tekniği olarak ilk tercih olmayacaktır. Bununla birlikte, şekillendirme alanı emisyonları ve bunun beraberinde getirdiği seyreltme ile birleştirildiğinde, WESP mantıklı bir seçenek olabilir.

Bu teknikle elde edilen emisyon seviyeleri Tablo 4.40'da, maliyetler ise Tablo 4.41'de verilmektedir. Prensipten olarak, bu teknik hem yeni hem de mevcut tesislerde uygulanabilir.

4.5.6.2.4 Atık gaz yakma

Açıklama

Atık gaz yakma, endüstriyel işlemlerden kaynaklanan organik emisyonları kontrol altına almada yaygın olarak kullanılmaktadır. Malzemeyi tahrip etme (geri kazanımı önleme), genellikle daha fazla enerji gerektirme ve karbondioksit ve azot oksitleri üretme gibi dezavantajlara sahiptir. Bununla birlikte, enerji verimli olacak şekilde tasarlanabilir ve kurutma veya kondenzasyon işlemlerine ısı tedarikinin entegre bir parçasını oluşturabilir. Yakma tesisi, iki tip termal yakma fırını (>750 °C) veya katalitik yakma fırınları (350 ila 400 °C) olabilir.

Termal yakma, organik bileşikleri termal olarak karbondioksit, suya, kükürt ve azot oksitlerine ve diğer yanma ürünlerine oksitleyerek yok eder. Etkili yanma için temel gereksinimler aşağıda verilmiştir.

- Yanma odasında kalma süresi, tam yanmanın sağlanabileceği uzunlukta olmalıdır. % 99'luk yok etme verimliliği için genellikle ilgili sıcaklıkta 1 ila 4 saniyelik bir kalma süresi gerekecektir.
- Çalışma sıcaklığı, en kararlı maddenin kendiliğinden tutuşma sıcaklığının 200 - 400 °C üzerinde olmalıdır; tipik çalışma sıcaklıkları yaklaşık 800 °C civarındadır. Gaz akımının klorlu ve aromatik maddeler içerdiği yerlerde, sıcaklıklar 1100–1200 °C'ye yükseltilmelidir ve dioksin oluşumunu önlemek için baca gazı hızla soğutulmalıdır.
- Türbülans, yanma bölgesinde verimli ısı ve kütle transferi sağlamak ve "soğuk noktaları" önlemek için gereklidir. Bu, genellikle dönen bir yanma alevi üreten brülörler kullanılarak ve yanma odasına bölmeler eklenerek sağlanır.

Katalitik yakmanın bu sektörde uygulanabilir bir seçenek olması pek olası değildir, çünkü yüksek partikül yükü ve reçineli malzemelerin varlığı katalizör zehirlenmesine yol açacaktır.

Elde edilen çevresel faydalar

Atık gaz yakma, organik maddeleri atık gaz akımlarından uzaklaştırmak için etkili bir tekniktir, ancak inorganik partikül maddeyi azaltmaz. Yakma, enerji harcar ve CO₂ ve azot oksit emisyonlarına yol açar; bu emisyonların salınan miktarları, yok edilen maddelere göre tercih edilebilir olarak kabul edilebilir ve baca gazlarından geri kazanılacak enerji miktarını artırabilir. Kondenzasyon fırınlarından çıkan atık gaz ayrıca amonyak ve diğer azotlu maddeler içerir, bunların bir kısmı azot oksitlere oksitlenir. İyi tasarlanmış bir atık gaz yakma, toplam organik bileşikleri 10 mg/Nm³'ün altına indirecektir.

Ortamlar arası etkiler

Atık gaz yakma ile ilgili başlıca avantaj ve dezavantajların bir özeti Tablo 4.39'da sunulmaktadır.

Atık gaz yakma kullanımı ile ilişkili enerji tüketimi, fenol ve uzaklaştırılan her bir kilogram fenol ve formaldehit başına 200 m³ gaza veya uzaklaştırılan her bir kilogram amonyak için 20 m³'e eşittir. Bunun sonucunda meydana gelen CO₂ emisyonu artışı, kg fenol/formaldehit başına yaklaşık 400 kg ve kg amonyak başına 40 kg olarak tahmin edilmektedir.

Tablo 4.39: Atık gaz yakmanın başlıca avantajları ve dezavantajları

Avantajlar: - Organik kirleticilerin ve kokuların yok edilmesinde verimliliği yüksektir - Sulu veya katı atık oluşmaz Dezavantajlar: - Enerji tüketimi yüksektir. Baca gazlarından enerji geri kazanımına yönelik yöntemler teknik olarak mümkün olduğunca uygulanmalıdır - Karbondiyoksit ve azot oksitler salınır. Amonyakın bir kısmı azot oksitlere dönüştürülür - İnorganik partikül maddele uzaklaştırma etkinliği yoktur - Maliyetler, mümkün olduğunda şekillendirme emisyonları ile birleştirilen arıtmaya kıyasla, önemli ölçüde daha yüksektir <i>Kaynak: [89, EURIMA Önerileri 2007]</i>

İşletim verileri

Bu teknik kullanılarak elde edilebilecek emisyon değerleri Tablo 4.40'da verilmiştir.

Atık gaz yakma kullanımına ilişkin enerji tüketimine ilişkin veri mevcut değildir.

Uygulanabilirlik

Belgenin yazıldığı sırada (2010), teknik yalnızca taş yünü kondenzasyon fırınlarından çıkan emisyonları arıtmak için, tesislerin % 60 - 70'i tarafından kullanılmaktadır. Alternatif seçenekler aşağıda açıklanmıştır.

Yüksek hacim, düşük konsantrasyon, düşük sıcaklık ve bazen yüksek nem içeriği nedeniyle, tekniğin şekillendirme alanı atık gazında kullanılmak için aşırı pahalı olduğu düşünülmektedir. Prensip olarak teknik, yeni ve mevcut süreçler için eşit uygulanabilirliğe sahiptir.

Hem cam hem de taş yünü proseslerinde, genellikle şekillendirme alanı emisyonları ile kondenzasyon fırını emisyonlarını, çok daha ekonomik bir şekilde, tek bir teknikte birleştirerek arıtma seçeneği mevcuttur. Prensipte, cam yünü kondenzasyon fırını emisyonlarının yakılarak azaltılmasının önünde teknik bir engel yoktur. Ancak bu, en uygun maliyetli çözüm olmayabilir.

Ekonomi

Atık gaz yakmanın maliyetleri Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde hava akışına ve tesisin büyüklüğüne bağlıdır. Yakmanın ekonomik boyutu, büyük ölçüde ısı geri kazanım fırsatlarına bağlıdır. Maliyetler bir dizi faktöre bağlıdır, ancak en önemlileri şunlardır:

- yakma odasının boyutlarını belirleyen, arıtılacak atık gaz hacmi;
- yanma ekipmanının tasarımını ve yardımcı yakıt gereksinimlerini etkileyen, atık gaz sıcaklığı;
- yardımcı yakıt gereksinimlerini etkileyen, gazın kalorifik değeri;
- yapı malzemelerini belirleyen yanma sıcaklığı;
- teçhizat;
- ısı geri kazanım seçenekleri; ve
- iç mekan, dış mekan, zemin seviyesi, çatı katı vb. tesis gereksinimleri.

Uygulamanın itici gücü

Organik emisyonlar için yasal emisyon limitlerinin karşılanması ve yerel sakinlerden gelen koku şikayetleriyle ilgili hususlar, uygulama için itici gücü temsil edebilir.

Örnek tesisler

Rockwool Lapinus, Roermond, Hollanda Partek Rockwool AB, Hällekis, İsveç Owens Corning, Queensferry, Birleşik Krallık

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.2.5 Taş yünü filtreleri**Açıklama**

Taş yünü filtreler, şekillendirme ve kondenzasyon alanlarından çıkan atık gazlar için kombine filtreleme sistemi olarak veya yalnızca kondenzasyon alanı emisyonları için ayrı bir filtre olarak kullanılabilir. Tekniğin ayrıntılı bir açıklaması 4.5.6.1.4 kısmında verilmiştir.

Elde edilen çevresel faydalar

Filtreler, organik ve inorganik partikülleri etkili bir şekilde azaltacak, ancak gaz emisyonlarını önemli ölçüde azaltmayacaktır. Bu, organik bileşenlerin ve bağlayıcıdan amonyak emisyonlarının artmasına yol açacak, ancak enerji tüketimi ve azot oksit ve CO₂ emisyonları, yakma fırınına kıyasla azalacaktır. Bağlayıcı bileşenlerin artan emisyonları, şekillendirme alanından kaynaklanan emisyonlarla karşılaştırıldığında normalde önemsiz seviyededir.

Ortamlar arası etkiler

Taş yünü filtre organik ve inorganik partiküllerin çoğunu tutacaktır, ancak gaz halindeki bileşenler sadece bir miktar azaltılabilir.

İşletim verileri

Tablo 4.40'ta, taş yünü filtrelerin kullanımına ilişkin sonuçlar, diğer azaltma teknikleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Uygulanabilirlik

Taş yünü filtreler, atık gaz yakma fırınlarına alternatif olarak taş yünü kondenzasyon fırınlarından çıkan emisyonları arıtmak için kullanılır. Kondenzasyon çıkış gazındaki partikül konsantrasyonu normalde çok düşüktür; bu nedenle mevcut birçok tesis, kondenzasyon fırınlarından çıkan çıkış gazını arıtmada yalnızca birincil tedbirleri ve bacaları kullanır. Birbirinden ayrı veya birleşik biçimlendirme/kondenzasyon bacaları kullanılabilir.

Ekonomi

Bu tekniğe ilişkin maliyetler Tablo 4.41'de verilmiştir ve büyük ölçüde atık gaz hacmine ve tesis büyüklüğüne bağlıdır.

Uygulamanın itici gücü

Uygulamanın itici gücü, organik emisyonlara dair yasal emisyon sınırlarını karşılamak amacıyla organik partikül madde ve damlacıkların/aerosollerin uzaklaştırılması olabilir.

Örnek tesisler

Herhangi bir bilgi verilmemiştir.

Referans literatür

[89, EURIMA Önerileri 2007]

4.5.6.3 Ürün soğutma

Fırını terk ettikten sonra kabul edilebilir bir sıcaklığa getirilmesi için, üründen büyük miktarda hava (tipik olarak 10000 ila 40000 m³/s) geçirilmesi gerekir. Bu gazın lif, kürlenmiş bağlayıcı partikülleri ve kokulu olabilen düşük seviyelerde organik duman içermesi muhtemeldir. Bu gaz akışı sektör içinde önemli bir sorun değildir; ancak yerel sorunlara neden olabilir. Gazın arıtılması için üç ana yöntem vardır, sektörde hepsinin örnekleri mevcuttur ve tümü kullanılabilir ve uygun fiyatlı olarak kabul edilir. Üçü de nispeten düşük emisyon seviyelerine ulaşabilir ve hangisinin tercih edildiği yerel koşullara bağlı olacaktır. Bazı durumlarda emisyonlar çok düşükse ikincil önlemler gerekli olmayabilir. İlgili üç teknik şunlardır:

- Yer seviyesinde kokuları önlemek için yeterli boşaltma hızı ve yüksekliği ile birlikte toz giderici filtre sistemi kullanılması
- Yeterli dispersiyonla birlikte ıslak yıkama sistemi kullanılması. Venturi tipi bir sistem en düşük partikül ve duman emisyonlarını sağlayacaktır
- Soğutma havasının şekillendirme alanı veya kondenzasyon fırını atık gaz arıtma sistemi ile kombinasyonu.

Kombinasyon seçeneği, muhtemelen çevresel ve ekonomik açıdan en verimli yöntem olacaktır.

4.5.6.4 Ürünün İşlenmesi ve Paketlenmesi

Maden pamuğu işlemlerinde, toz emisyonlarına neden olan bir dizi ürün düzeltme, kesme ve dilimleme işlemleri söz konusudur. Bu emisyonları arıtmada kabul edilen yol, verimli toplama ve ekstraksiyondur ve çekilen hava daha sonra genellikle bir torbalı filtreden oluşan verimli bir toz giderme sisteminden geçirilir (ayrıca bkz. 3.8.2.4).

Paketleme işlemleri de potansiyel toz salınım kaynaklarıdır ve aynı şekilde ele alınmalıdır.

Bu işlemlerden çıkan gazın hacmi büyük değişiklik gösterebilir (5000 ila 70000 m³/s). Azaltma ekipmanının sermaye ve işletme maliyetlerini en aza indirmek için, çekilen hava hacimleri, iyi toz toplama ile orantılı şekilde minimum düzeye düşürülmelidir.

4.5.6.5 Maden pamuğu üretiminden kaynaklanan kokular

Teknik koku değerlendirmesi zordur, pahalıdır ve göreceli olabilir; bu konuda çok az bilgi mevcuttur. Fakat maden pamuğu tesisleri çevredeki halkın koku hakkındaki şikayetlerine neden olabilir. Bu sorun, geliştirilmiş işletim ve kontrol sayesinde son yıllarda azalmıştır, ancak yine de birçok tesis için bir sorundur. Bu kısımda, ergitergitme dâhil olmak üzere sürecin tüm bölümlerinden gelen kokular tartışılmaktadır.

Geleneksel hava-gaz ve oksijen-gaz ateşlemeli fırınlar, geri dönüştürülmüş malzemelerin ergitildiği durumlarda bile, yüksek sıcaklıklar genellikle koku problemlerine yol açmaz. Soğuk başlıklı elektrikli ergiticilerde koku problemi yaygın olmasa da, maden pamuğu atığı geri dönüştürülüyorsa bu sorunla karşılaşılması mümkündür. Bağlayıcı malzemeleri ergitergitme işlemi sırasında kısmi termal bozulmaya uğrayabilir ve bazı kokulu maddeler salınabilir. Bu sorun, oksitleyici ajanların eklenmesi veya liflerin ön işleminden geçirilmesiyle en aza indirilebilir.

Kupolla ergitergitme, önemli miktarda kokulu hidrojen sülfür emisyonlarına yol açar. Bunun için kabul edilen çözüm, geri dönüştürülmüş malzemeden veya hammaddelerden kaynaklanan diğer kokulu emisyonlar için de etkili olan bir son yakıcı sisteminde yakmadır.

Kokunun temel kaynakları, özellikle şekillendirme ve kondenzasyon gibi ilave işlemlerdir. Kokular ayrıca özellikle yoğun veya yüksek bağlayıcılı ürünlerde olduğu gibi, ürün soğutmadan veya belirli bir düzeyde aşırı kondenzasyon meydana gelmişse ortaya çıkabilir. Proseste kullanılan kimyasalların kendine özgü kokusu çok önemli kabul edilmez. Koku, ağırlıklı olarak proseste kullanılan organik bağlayıcının kimyasal ve termal reaksiyonlarından kaynaklanır. Karakteristik 'yanmış bakalit' kokusu ortaya çıkar. Tesisin dışarısındaki formaldehit veya amonyak kokularına ilişkin şikayetler çok nadirdir.

Çoğu kokunun, asıl kimyasal reaksiyonların ve termal işlemlerin gerçekleştiği kondenzasyon fırınından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kurutma işlemi de bağlayıcı bileşiklerin ve ara ürünlerin belirli bir miktar buharla damıtılmasına yol açacaktır. Çoğu kondenzasyon fırınının içinde lifli ve reçineli malzeme birikimiyle karşılaşılır ve bu da fırın sıcaklığının etkisiyle kokulu bileşiklerin oluşmasına neden olabilir. Kondenzasyon fırınlarında küçük yangınlar ve lokalize alevsiz yanma vakaları da nadir değildir ve yayılan duman ve is oldukça kokulu olabilir.

İyi bir fırın bakımı ve temizliği, ıslak yıkama sistemleri, yeterli dispersiyon ve herhangi bir yangının hızla söndürülmesinin sağlanması, koku sorunlarını büyük ölçüde azaltılabilir. Kondenzasyon fırını atık gazlarının yakılması, bu sorun için çok etkili bir çözümdür.

Şekillendirme alanı faaliyetleri de, özellikle bağlayıcı sıcak lifler üzerine püskürtülüyorsa, kokulu bileşiklerin oluşmasına neden olabilir. Ortam, kondenzasyon fırınına göre daha serin ve dolayısıyla daha nemlidir ve gaz hacimleri çok daha fazladır ve mevcut olan herhangi kokulu bileşik konsantrasyonları seyreltilir. Şekillendirme alanından önemli miktarda kokulu bileşikler yayılabilmesine rağmen, bileşik yalnızca koku eşliğinin üzerinde bir konsantrasyona sahipse “kokar”; bu nedenle şekillendirme alanı emisyonları genellikle kondenzasyon fırını emisyonları kadar kokulu değildir. Şekillendirme alanı emisyonları yine de kokuya yol açıyorsa, ıslak yıkama ve yeterli dispersiyon ile en aza indirilebilir. Problematik kokular, oksitleyici madde kullanılarak ıslak yıkama ile giderilebilir, ancak bunun proses suyu sisteminden ayrı olması gerekir. Kimyasal ıslak yıkamaya dair konular 4.5.6.1.2'de tartışılmaktadır.

Maden pamuğu sektöründeki ergitme harici başlıca faaliyetlerden (elyaflaştırma, şekillendirme, kondenzasyon ve soğutma) havaya salınan emisyonlar için genel olarak ulaşılabilir değerlerin bir özeti Tablo 4.40'ta sunulmaktadır. Tabloda gösterilen veriler, faaliyette olan tesislerin gerçek ölçümelerini yansıtmaktadır. Fiili emisyonlar sadece uygulanan azaltma tekniğine değil, aynı zamanda üretilen ürünün bağlayıcı içeriğine ve uygulanan birincil tekniklere de bağlıdır. Dolayısıyla tabloda rapor edilen veriler, farklı azaltma teknikleri için örtüşen emisyon aralıklarını göstermektedir.

Tablo 4.41'de ise, maden pamuğu sektöründeki ergitme harici başlıca faaliyetlere uygulanan azaltma tekniklerine ilişkin maliyet verilerinin bir özeti verilmiştir. Azaltma teknikleri tabloda verilen açıklamalar doğrultusunda uygulanmaktadır. Örneğin, bir WESP, lifleri ve suyu gidermek için her zaman kendisinden önce yerleştirilmiş bir darbeli yıkayıcı ve siklon ile birlikte kullanılır; dolayısıyla belirtilen maliyetler buna göredir.

Tablo 4.40: Maden pamuğu sektöründeki ergitergitme harici faaliyetlerden havaya salınan emisyonlar için farklı tekniklerin uygulanmasıyla elde edilebilecek genel değerler

Proses/teknik		mg/Nm ³ cinsinden emisyonlar ⁽¹⁾ (parantez içinde, kg/ton ürün olarak)						
Partikül		Fenol	Formaldehit	Amonyak	NO _x	CO ₂	UOB'ler ⁽²⁾	Aminler ⁽²⁾
Kombine elyaflaştırma, şekillendirme ve kondenzasyon								
Siklon	15 (0,6)	2 (0,08)	1 (0,04)	10 (0,4)			14 (0,56)	
Darbely yıkayıcı + siklon	9 - 64 (0,6 - 3,2)	0,4 - 14 (0,03 - 0,8)	0,7 - 6,4 (0,06 - 0,25)	8 - 61 (0,36 - 5,0)			3 - 28 (0,13 - 1,7)	
Darbely yıkayıcı + siklon + WESP ⁽³⁾	19 (1,21)	7,0 (0,46)	3,6 (0,269)	56 (3,6)			20,3 (1,43)	
Darbely yıkayıcı + siklon + çökeltme odası	18,1 (0,65)	1,31 (0,0465)	3 (0,1)	48,8 (1,81)		5236 (194)	23,7 (0,89)	
Taş yünü filtre ⁽⁴⁾	18,3 (0,8)	18,8 (0,7)	6,5 (0,23)	39,3 (1,41)	48 ⁽²⁾			
Kombine elyaflaştırma ve şekillendirme								
Siklon	14,5 (1,11)	1,88 (0,14)	1,65 (0,13)	19,5 (1,49)			9,3 (0,71)	
Darbely yıkayıcı + siklon + PBS ⁽³⁾	11 (0,35)	0,75 (0,024)	1,4 (0,044)	30,9 (0,97)	2 (0,06)		20,7 (0,65)	
Taş yünü filtre ⁽⁴⁾	7-44 (0,15-1,2)	0,5-14 (0,01-0,25)	0,7-5,4 (0,017-0,14)	6,7-64,2 (0,18-1,4)	70,4 (2,75)			0,08 (0,0016)
Yalnızca kondenzasyon								
Siklon	81 (0,33)	1,02 (0,0043)	1,4 (0,018)	125 (0,84)			14,4 (0,08)	
Darbely yıkayıcı + siklon + PBS ⁽³⁾	1,9 (0,0048)	0,18 (0,0005)	0,03 (0,00007)	44,3 (0,11)			42,7 (0,11)	
Atık gaz yakma ⁽⁴⁾	3-29 (0,01-0,16)	0,2-30 (0,0004-0,1)	0,22-7,1 (0,001 -0,06)	6-90 (0,05-0,24)	45 - 204 (0,08-1,3)	16000-8000 (35-81)		0,07 (0,0002)
Taş yünü filtre ⁽⁴⁾	11 (0,25)	5,85 (0,019)	5,4 (0,022)	65 (0,28)	34 (0,12)			
Yakma + taş yünü filtresi ⁽²⁾	13,5 (0,03)	1,2 (0,004)	5 (0,011)	83 (0,26)	225 (0,3)			0,3 (0,001)
Soğutma								
Siklon	12,5 (0,04)							
Taş yünü filtre ⁽⁴⁾	4-50 (0,02-0,41)	5,5 (0,047)	3,89 (0,02)	18,3 (0,08)	43,3 (0,12)			

⁽¹⁾ Aralık olarak verilen emisyon verileri, önemli sayıdaki ölçüme atıfta bulunur (min. 9, maks. 23). Tekli emisyon verileri, sınırlı sayıda ölçümün (min.1, maks.4) ortalama değerini ifade eder.

⁽²⁾ Mevcut veriler sınırlıdır.

⁽³⁾ WESP = ıslak elektrostatik toz tutucu; PBS = dolgulu yataklı yıkayıcı.

⁽⁴⁾ Bu teknikler sadece taş yünü üretimi için geçerlidir.

Kaynak: [93, EURIMA veri tablolarının %80'i 2007]

Tablo 4.41: Maden pamuğu sektöründe ergitergitme dışı faaliyetler için azaltma tekniklerinin yatırım ve işletme maliyetleri

Azaltma tekniği	Tesis kapasitesi (ton/gün)	Yatırım maliyeti (milyon Euro) ⁽¹⁾	İşletim maliyeti (yılda milyon Euro) ⁽²⁾	Özgül maliyet (Euro/ton) ⁽²⁾
Şekillendirme + kondenzasyon				
Darbeli yıkayıcı + siklon	50	1,1	0,15	16,5
Darbeli yıkayıcı + siklon + WESP	150	4,4	0,6	23,5
Darbeli yıkayıcı + siklon + ıslak yıkayıcılar	100 - 150	2,3	0,5 (100 ton/gün) 0,62 (150 ton/gün)	18,5 (150 ton/gün) 20,5 (100 ton/gün)
Taş yünü filtreleri	150 - 350	0,9 (200 ton/gün)	0,86 (200 ton/gün)	16 (200 ton/gün)
Şekillendirme + kondenzasyon + soğutma				
Darbeli yıkayıcı + siklon + ıslak yıkayıcılar + WESP	250	7,6	0,95	21
Kuru + ıslak yıkayıcılar + WESP ⁽³⁾	250	13,7	0,73	28,5
Şekillendirme + soğutma				
Taş yünü filtreleri	150	1,3 - 4,3	0,4 - 0,55	17 - 18,5
Sadece şekillendirme				
Darbeli yıkayıcı + siklon	25	0,8	0,16	29
Çapraz akışlı gaz yıkayıcılar	100	3,1	0,15	15,5
Taş yünü filtreler	150 - 350	1,0 (150 ton/gün) 8,4 (350 ton/gün)	0,55 - 0,6	8,5 - 17
Sadece kondenzasyon				
Taş yünü filtre + son yakıcı	150 - 200	0,8 - 1,3	0,2 (geri dönüşüm) 0,4 (bertaraf)	5,5 (geri dönüşüm) 14,5 (bertaraf)
Kondenzasyon + soğutma				
Atık gaz yakma (art yakıcı)	150 - 350	0,6 - 1,3 (150 - 250 ton/gün) 3,5 (350 ton/gün)	0,3 - 0,6	5,5 - 14
⁽¹⁾ Yatırım maliyetleri, yıllık yatırım amortismanı, faiz maliyetleri, saha hazırlığı, baca gazı arıtma, atık arıtma/demontaj vb. içerir. ⁽²⁾ İşletme ve özel maliyetler bakım, enerji, kimyasal maddeler, CO ₂ ödenekleri, atık bertarafı, su kullanımı vb. içerir. ⁽³⁾ Kuru ve ıslak yıkayıcılar + ıslak elektrostatik toz tutucu (WESP) durumunda: yatırım maliyetlerine yıkama suyu geri dönüşüm tesisi dahilken, özel maliyetlere yıkama suyu geri dönüşüm tesisinin ilgili maliyetleri dâhil değildir. Kaynak: [115, EURIMA-ENTEC Maliyet değerlendirmesi 2008]				

4.5.7 Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri

Yüksek sıcaklık yalıtım yünü (HTIW) sektörüyle ilişkili ergitergitme harici faaliyetlerden kaynaklanan başlıca çevresel kaygı, yüksek sıcaklık yalıtım yününün lifli tozlarını içerebilen partikül maddenin havaya salınmasıdır. Ek olarak, bazı ikincil işlemler, özellikle kurutma ve kondenzasyon işlemleri sırasında UOB emisyonlarına neden olabilir.

Partikül ve lifli toz emisyonları, prosesteki birçok alandan ortaya çıkabilir. Bu alanlar; elyaflaştırma ve toplama, iğneleme, yağlayıcı yakma, kesme, düzeltme, paketlenme ve ikincil işleme alanlarıdır.

Aşağı akış yönlü faaliyetlerden kaynaklanan emisyonları azaltmaya yönelik teknik olanaklar, normal şartlarda partiküllerin baca gazlarının taşındığı salınım kaynağına yakın özel filtrelerle filtrelenmesine bağlıdır.

Elyaf üretimi sırasında, iğneleme işlemini gerçekleştirirken için lifler arasındaki sürtünmeyi azaltmak için bir yağlayıcı madde eklenir. Elyaflaştırmanın ardından, lifler birbirinden ayrı olarak emme yardımıyla toplama odasında dokuma telden yapılmış, hava geçirgen bir örgülü konveyör üzerine serilir.

Toz yüklü gazlar, pnömatik olarak bir boru hattı vasıtasıyla tozun uzaklaştırıldığı bir torba filtreye (kuru ayırıcı) iletilir. Torba filtreler belirli aralıklarla pnömatik olarak temizlenir. Çıkarılan lifler ve lif tozu, sızdırmaz polietilen torbalara doldurulur ve bir kısmı, vakumla şekillendirilen ürünler için hammadde olarak veya alternatif malzeme geri dönüşümünde kullanılır.

Yumuşatma işleminin bir sonucu olarak, ağın/matın iğnelenmesi sırasında oluşan toz emisyonları azaltılır. İğneleme makinesinde üretilen tozlar makinelerde doğrudan ekstrakte edilir. Çekilen hava, filtreli separatörlerde temizlenir. Organik yumuşatıcı ajanı çıkarmak için, iğnelenmiş harman örtüsü, ilave işlemlerden önce ısıtılma işlemine tabi tutulur. Kırpma sırasında oluşan atık ve şerhler ve oluşan tozlar emilir, kapalı bir sistem içindeki bir torba filtreye beslenir ve polietilen (PE) torbalara ürün olarak doldurulur. İğnelenen harman örtüsü paketlenmeden önce, soğutulması için ortam havasının matın içinden emildiği bir soğutma bölgesinden geçer. Bu süreçte oluşan tozlar filtreli separatörlerde toplanır. Sistemlerin tamamında çıkarılan malzeme, vakumla şekillendirilen parçalar veya levhalar için hammadde olarak kullanılır.

Partikül veya elyaf toz salınımı olabilecek tüm alanlarda bir torbalı filtre sistemine açılan, verimli bir ekstraksiyon sistemi kullanılabilir. İyi tasarlanmış ve verimli bir şekilde çalıştırılan bir birincil filtreleme sistemi ile, 1 - 5 mg/Nm³ (elyaflar için <1 mg/Nm³) aralığındaki emisyon seviyelerine ulaşılabilir.

Bir prosesin birincil filtrelerle dayandığı durumlarda, bir çeşit torba arıza cihazı emniyet sağlayacaktır. Pek çok tesiste alarmlı basınç düşüşü monitörleri bulunur, ancak bunlar tek başına yeterli olmayacaktır.

Ekstraksiyon fanının kumaş filtrenin temiz tarafına takıldığı filtre sistemleri (negatif basınç sistemleri) genellikle tercih edilen seçenektir. Fanın artırılmayan tarafta olduğu pozitif basınçlı sistemlerde, sistemde fanın aşağı akış yönünde herhangi bir sızıntı, malzemenin salınmasına neden olacaktır.

Torbalı filtrelerin temizleme döngüleri, maksimum filtrasyon verimliliği sağlamak üzere optimize edilebilir. Bazı uygulamalarda, özellikle lifli salımları içeren uygulamalarda, çalkalayıcı mekanizmalar ters jet sistemlerinden daha etkili olabilir. Toplanan malzemenin doğası gereği, havaya veya suya herhangi bir salınımını önleyecek şekilde işlenmesi ve bertaraf edilmesi önemlidir. Bazı durumlarda, toplanan malzemenin fırına geri dönüştürülmesi mümkün olabilir.

Organik salımlar, yağlama maddesinin yanmasından veya ikincil işleme sırasında kondenzasyon veya kurutmadan kaynaklanabilir. İşletimde elde edilen deneyimler, bu salımların genellikle çok düşük olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, emisyonlar önemli miktardaysa (örn. > 100 g/saat), birincil formülasyon tedbirleriyle veya atık gaz yakma ya da absorpsiyon gibi standart azaltma teknikleriyle kontrol edilebilir.

4.5.8 Fritler

Spesifik olarak frit üretiminin ilave faaliyetleriyle ortaya çıkan önemli miktarda havaya emisyon yoktur. Ürün zımparalama ve frezeleme genellikle ıslak olarak gerçekleştirilir, ancak kuru frezeleme yapıldığı durumlarda ve kuru ürün paketlenme alanlarında toz kontrol tedbirleri gerekli olabilir. En etkili teknik muhtemelen ekstraksiyon ve ardından gelen bir torbalı filtre sistemi olacaktır.

4.6 Suya deşarjları kontrol etme teknikleri

Genel olarak, su ortamına emisyonlar nispeten düşüktür ve cam sanayiine özgü önemli hususların sayısı azdır. Bu belge, birçok endüstriyel süreçte ortak ve teknik literatürde ayrıntılı olarak tartışılmış olan genel su kirliliğine yönelik konuları kapsamaz. Bu kısımda, bu genel konular kısaca özetlenmiş ve uygun olduğu durumlarda cam sanayiine özgü konular hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Su, temel olarak temizlik ve soğutma amacıyla kullanılır ve standart teknikler kullanılarak kolaylıkla geri dönüştürülebilir veya arıtılabilir. Su kirliliğinin temel potansiyel kaynakları aşağıda verilmiştir.

- Yüzey suyu drenajı
- Hammadde depolamasından kaynaklanan döküntüler veya sızıntılar
- Sıvı veya katı maddelerle kirlenmiş alanlardan gelen drenaj suyu
- Ürün temizliğinde kullanılan su
- Kapalı devre sistemlerden gelen soğutma suyu ve soğutma suyu blöfü
- Islak yıkayıcı atıkları.

Evsel atık su hariç, boşaltımlar genellikle yalnızca bir miktar petrol kontaminasyonu, bir miktar çözünür cam yapıcı malzemeleri (örn. sodyum sülfat) ve soğutma suyu sistemi arıtma kimyasalları ile birlikte cam katılarını içerir. Zararlı olabilecek malzemelerin kullanıldığı yerlerde, bunların su devresine girmelerini önlemek için önlemler alınabilir. Uygulanabilir olan her yerde kapalı soğutma sistemleri kullanılabilir ve blöf minimuma indirilir. Gerekirse emisyonları daha da azaltmak için standart kirlilik kontrol teknikleri kullanılabilir; bunlar örneğin, çöktürme, eleme, yağ ayırıcılar, nötralizasyon ve belediye atık su programlarına boşaltım olabilir.

Sıvı hammaddelerin ve ara ürünlerin depolanmasından kaynaklanan emisyonları kontrol altına almak için, bazı standart iyi uygulamalar kullanılabilir. Bunlar örneğin:

- Uygun şekilde boyutlandırılmış muhafazanın sağlanması (setleme)
- Bütünlüğü sağlamak için tankların ve setlerin incelenmesi/test edilmesi
- Aşırı dolum önleme (kesme vanaları, alarmlar vb.)
- Set veya diğer muhafaza içindeki havalandırma ve doldurma noktalarının konumlandırılmasıdır.

Suya deşarjların izlenmesi, genellikle iki saatlik veya bir günlük bir süre boyunca alınan kompozit numuneler üzerinde gerçekleştirilir (bazı Üye Devletlerde günlük ortalama beş numuneden dördü referans olarak alınır). pH ve sıcaklık için sürekli ölçümler yaygındır.

Burada, cam sanayiine özgü olarak değerlendirilen hususlar şunlardır:

- Maden pamuğu proses suyu sistemleri
- Kesintisiz cam elyaf atığı
- Özel cam (TV camı)
- Cam ev eşyaları (kurşunlu kristal, kristal cam)
- Frit soğutma (söndürme ve öğütme devreleri).

Maden pamuğu

Maden pamuğu işlemleri, normal şartlar altında, şekillendirme ve daha az ölçüde kondenzasyon işlemlerinden havaya önemli miktarda su buharı salınan, net su tüketicileridir. Yukarıda belirtilen genel hususlar dışında normalde atık su boşaltımı yoktur. Çoğu işlemde, kapalı devre bir proses suyu sistemi kullanılır (bkz. Şekil 2.11) ve uygulanabilir durumlarda soğutma suyu ve temizleme suları bu sisteme beslenir. Proses temizleme suları ve bağlayıcı döküntüleri genellikle proses suyu devresine geri dönüştürülür.

Proses suyu sistemi sınırlı bir hacme sahiptir, ancak aşırı hacim yüklerinin tutulması ve daha sonra yeniden sisteme verilmesi için bekletme tankı içerecek şekilde tasarlanabilir. Proseste kullanılan malzemelerin çoğu proses suyunun kimyası ile uyumludur. Kimyasal setlerden, döküntülerden ve yağ ayırıcılardan az miktarlarda kontamine atık su çıkabilir. Bu tür malzemeler proses suyu sistemi ile uyumlu olmadığında, bir bekletme tankına yönlendirilebilirler. Çok düşük hacimlerde olan bu malzemeler genellikle belediyenin atık su kanalizasyonuna atılır veya tesis dışı bertaraf için gönderilir. Tablo 4.42'de sıralanan teknikler kullanılabilir, ancak çok küçük hacimler için ekonomik olma olasılığı düşüktür.

Proses suyu sisteminin büyük hacimli olması, yüzey suyu ve kırıntı söndürme suyu gibi temiz su devrelerinin kontamine olması potansiyeline sahiptir. Sistemler bu riski en aza indirecek şekilde tasarlanabilir ve çalıştırılabilir. Örneğin, temiz su sistemleri, kirlenmenin meydana gelebileceği alanlardan geçtikleri yerlerde sağlam şekilde kapatılmalıdır.

Biyolojik arıtma, maden pamuğu sektöründe bağlayıcı uygulamasıyla ortaya çıkan organik bileşikler parçalamak için kullanılması mümkün bir tekniktir. Bakteri ve yıkama kulelerinin kullanıldığı biyo yıkayıcılar, proses sularındaki organik kirleticilerin miktarını azaltır. (bkz. 4.5.6.1.3'teki Tablo 4.36).

Kesintisiz cam elyaf

Emisyonlar şekillendirme alanı, bağlayıcı hazırlığı, temizlik, soğutma, tül/keçe bağlayıcı uygulaması ve su bazlı yıkama sistemlerinden kaynaklanmaktadır. En büyük emisyon kaynağı şekillendirme alanıdır. Sarıcıların yüksek hızı ve liflerin şekillendirme işlemi sırasında hareketi nedeniyle, uygulanan bağlayıcının bir kısmı dışarı doğru sıkılarak atılır. Arıtılmamış atık sudaki temel kirleticiler, bağlayıcı malzemelerdir. Özellikle bağlayıcı hazırlama alanında dikkatli kullanım prosedürlerinin izlenmesi, genel üretim proseslerinden kaynaklanan emisyon seviyelerini önemli ölçüde azaltabilir.

Kirletici türleri ve konsantrasyonları, bağlayıcı sistemlerindeki ve işletim uygulamalarındaki çeşitlilik nedeniyle oldukça büyük farklılıklar gösterecektir. Atık su; yıkama suyu ile seyreltilme nedeniyle bazen oldukça düşük kirletici konsantrasyonlarına sahip olabilir, ancak genellikle bağlayıcı maddelerden kaynaklanan yüksek düzeyde organik kirleticileri içerir. Atık su genellikle ya belediye kanalizasyonuna boşaltım yoluyla ya da Tablo 4.42'de listelenen tekniklerin uygun bir kombinasyonu kullanılarak tesis içinde arıtmayı gerektirecektir. Atık su doğrudan bir su yoluna atılacaksa, en etkili yerinde arıtma muhtemelen biyolojik arıtma olacaktır. Ancak, arıtma sisteminin dikkatli tasarımı ve işletimi gereklidir; zira biyolojik arıtmanın etkinliği, bazen düşük konsantrasyonlar ve polimerik türlerin yüksek oranı nedeniyle riske girebilir.

Özel cam

Özel cam sektörü çok çeşitlidir ve suya tüm potansiyel emisyonları ve uygun olan azaltma tekniklerini tanımlamak mümkün değildir. Bu sektördeki faaliyetlerin büyük bölümü sadece yukarıda açıklanan genel atık su hususlarını içermektedir. Bununla birlikte, özellikle TV camı ve optik cam gibi belirli ürünlerin imalatı, ıslak zımparalama veya parlatma işlemlerini içerir. Bu, zımparalama ve parlatma yardımcılarını (örn. seryum oksit, silisyum karbür) içeren sulu bir akışa ve kurşun içerebilecek ince camlara yol açar. Bu atık akışı, aşağıdaki Tablo 4.42'de listelenen standart katı giderme tekniklerinin bir

kombinasyonu ile arıtılabilir. Camdaki kurşun esasen çözünmez niteliktedir ve toplam kurşun içeriği, katı içeriğine bağlı olacaktır.

Cam ev eşyaları

Genel olarak, cam ev eşyaları sektörünün suya deşarjları çok düşüktür. Sanayinin diğer sektörlerinde olduğu gibi, başlıca su kullanımları soğutma ve temizleme amaçlıdır ve sulu emisyonlar, soğutma suyu sisteminden temizlenen atıklar, temizleme suları ve akan yüzey sularından oluşacaktır. Bununla birlikte, özellikle kurşunlu kristal ve kristal cam üretimi gibi belirli faaliyetlerle ortaya çıkan emisyonlar daha spesifiktir.

- Kesme işlemlerinde kullanılan su, kesme yardımcıları ve ince cam parçacıklarını içerir. Bu atık su, standart katı ayırma teknikleri kullanılarak arıtılabilir. Emisyon seviyelerini en aza indirmek için kesmek için suyun yeniden kullanımı mümkündür, ancak küçük bir hacmin devreden boşaltılması gerekir. Camın içerdiği kurşun esasen çözünmezdir.
- Asitle cilalama durumunda, aside daldırıldıktan sonra camın yüzeyinde bir kurşun sülfat tabakası oluşur. Bu, sıcak suyla yıkanarak asidik hale getirilir ve çözünür kurşun sülfat içermesi sağlanır. Bu atık su, kimyasal ve fiziksel tekniklerin bir kombinasyonu ile arıtılabilir. Kurşun sülfat, kurşunu çökeltecek şekilde reaksiyona sokulabilir (örn. kurşun karbonat oluşturmak üzere kalsiyum karbonat ile) ve kurşun, koagülasyon ve flokülasyon ve daha sonra fiziksel bir ayırma ile uzaklaştırılabilir. Bu teknikleri kullanarak kurşun seviyelerini <0,5 mg/l'e düşürmek mümkün olmalıdır.
- Sulu yıkayıcılardan çıkan asidik atığın bertarafından önce nötralizasyonu gerekecektir. Alternatif olarak hekzaflorosilik asit geri kazanılabilir ve kimyasal bir besleme stoğu olarak kullanılabilir. Parlatma için kullanılan hidroflorik asit çözeltisinden türetilen florürlerin uzaklaştırılması için asitli sulara kalsiyum karbonat ilavesi yapılabilir (bkz. 3.6.2.3).

Atık su arıtımı için olası tekniklerin bir listesi Tablo 4.42'de gösterilmektedir.

Tablo 4.42: Cam sanayiinde kullanıma yönelik potansiyel atık su arıtma teknikleri listesi

Fiziksel/kimyasal arıtma • eleme • halmaz alma • çöktürme • santrifüj • filtreleme	• nötralizasyon • havalandırma • tortulama • koagülasyon ve flokülasyon
Biyolojik arıtma • aktif çamur • biyofiltrasyon	

Fritler

Suya deşarjlar, normal soğutma, temizlik ve yüzeyden akan madde emisyonlarından oluşur. Söndürme ve frezeleme devreleri genellikle taze su takviyeli ve kapalıdır, ancak bazen tuz birikimini önlemek için bir arıtma işlemi vardır. Emisyon seviyeleri çok düşüktür; ancak bu suyu diğer operasyonel süreçlerde yeniden kullanmak için tesis içi arıtmayı gerekli kılacak bazı elementlerin bulunduğu, askıda katı maddeler içerebilir. Bu elementler genellikle askıda katı maddelere bağlı haldedir ve katı ayırma teknikleri ile uzaklaştırılabilir. Bor durumunda, tasfiye edilen suya dair parametreler, diğer cam sektörlerindeki standart değerlerden daha yüksek olabilir ve farklı proses çözümleri gerektirir [98, Frit Sektörüne dair ANFFECC görüşü 2005].

4.7 Diğer atıkları en aza indirme teknikleri

Cam sanayiinin bir özelliği de, faaliyetlerin çoğunda nispeten düşük seviyelerde katı atık ortaya çıkmasıdır. Süreçlerin çoğunda, önemli ölçüde yan ürün akışları meydana gelmez. Proses atıkları kullanılmamış hammaddeler ve ürüne dönüştürülmemiş atık camlardan oluşur. Cam sanayiinde karşılaşılan ana proses kalıntıları ve bunların kontrolünde kullanılan teknikler aşağıda tartışılmaktadır.

Atık Harmandaki hammaddeler

Atık Harmandaki hammaddeler, gereç yönetimi ve depolanmasından kaynaklanır ve kalite gereksinimlerinin izin verdiği durumlarda, prosese kolayca geri dönüştürülebilirler. Malzemenin biriktiği durumlarda, geri dönüşüm için yeterli saflık elde edilemeyebilir, ancak bu tür malzemenin miktarı 4.3 kısmında açıklanan tekniklerle en aza indirilebilir.

Atık gaz akışlarından toplanan toz

Çoğu durumda atık gaz akışlarından toplanan toz, tesis içerisinde prosese geri dönüştürülebilir. Geri dönüştürülmüş filtre tozu, afinyasyon ajanı olarak sülfatın kullanıldığı cam üretimlerinde kükürt içeren ham hammaddelerin yerine geçer. Asit gazı emiciler kullanıldığı durumlarda bunlar genellikle geri dönüşümlerini sağlamak için hammaddelerle uyumlu olacak şekilde seçilebilirler, ancak harman bileşiminin buna uygun olarak ayarlanması gerekecektir. Bu konu 4.4.1 kısmında daha ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

Harman reçetesinde filtre tozunun kullanılması, taşınım ve refrakter malzemelerin potansiyel korozyonu nedeniyle uzun vadeli sorunlara ve baca gazlarında kükürt ve NaCl buharlarının birikmesi nedeniyle kısa vadeli sorunlara neden olabilir.

Rejeneratif fırınlarda, fırının çalışması sırasında rejeneratörlerde önemli miktarda toz birikir. Fırının yenilenmesi/onarımı sırasında bu malzeme çıkarılır ve uygun ruhsata sahip bir sahaya atılır. Bu malzeme genellikle geri dönüştürülemez.

Ürüne dönüştürülmemiş eriyik

Bu atık akışı, esas olarak şekillendirme süreçlerinde arızalar veya ürün değişiklikleri nedeniyle yaşanan kesintilerden kaynaklanmaktadır. En yaygın ve en etkili teknik, eriyiğin suda soğutulmuş parçalanması ve oluşan bu kırıntıyı doğrudan hammadde olarak kullanmaktır. Bunun uygulanabilir olmadığı veya uygulanmadığı bazı örnekler vardır. Cam ambalaj ıskartaların tamamının yeniden ergitilmesi genellikle mümkündür. Burada başlıca istisna, örneğin tesis dışı kaynaklı cam kırıntılardan gelen seramik safsızlıklar gibi nedenlerle, camın kirlenmiş olmasıdır.

Flot cam işleminde, üretim kesintileri genellikle yüzdürme banyosundan sonra meydana gelir, dolayısıyla atık katı haldeki camdır ve bu cam parçalanarak cam kırıntısı halinde geri dönüştürülebilir. Benzer şekilde, kesintisiz cam elyaf üretiminde kesintiler genellikle elyaf oluşumundan sonra meydana gelir ve atık malzeme elyaftır. Bu tür atığın bir başka kaynağı çekme camdır; bu, daha yoğun erimemiş parçacıkları uzaklaştırmak için kanalın altından çekilen erimiş cam anlamına gelir. Bu partiküller uzaklaştırılmadıkları takdirde, elyaflaşmada sorunlara neden olarak maliyetli hasarların meydana gelmesine ve atık miktarının artmasına yol açabilir. Bu malzemenin süreç içinde geri dönüşümü genellikle arzu edilmez, çünkü ayrılan safsızlıklar burçlara akarak fırına geri dönecektir. Bu, kademeli olarak ergitilemeyen malzeme birikimine ve elyaflaştırma sorunları nedeniyle potansiyel olarak daha yüksek düzeyde atıklara sebep olabilir. Bazı durumlarda bu malzemenin cam sanayiinin diğer kısımlarında geri dönüşümü mümkün olabilir.

HTIW üretiminde, atık eriyiklerin geri dönüştürülmesi konusundaki finansal teşvikler oldukça az olmakla birlikte, atık bertarafı ve hammaddeler için artan maliyetler nedeniyle mümkün olan maksimum atığın geri dönüştürülmesi eğilimi söz konusudur.

Taş yünü üretiminde, malzeme yatağındaki hava akışını bozacağından, ince malzemeler kupola geri dönüştürülemez. Bu problem, atık malzemenin standart hammaddelerle benzer boyutta parçalar oluşturmak amacıyla briketlenmesi ile aşılabılır. Bu teknik günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır ve hem ekonomik hem de teknik olarak kanıtlanmış olarak kabul edilebilir, fakat ekonomik boyutu ölçeğe göre değişecektir. Taş yününün elyaflaştırılmamış parçacıkları da bu şekilde geri dönüştürülebilir (bkz. 3.8.4 kısmı).

Atık ürünler

Bu kategori, spesifikasyonun dışında kalan malzemeleri, kenar düzeltmesi için kesilen parçaları, geçişlerden kaynaklanan atık ürünleri, kırılan parçaları ve kaliteli numuneleri içerir. Bu atıkların geri dönüşümündense, mümkün ölçüde en aza indirilmelerini sağlayan tedbirler alınması tercih edilir; örneğin kenarların düzeltilmesi için kesilen parçalar minimum genişliğe indirilebilir. Bu tedbirler çoğunlukla ekonomik faydaları da beraberinde getirir.

"Sert" atıklar, örneğin kesilen düz cam kenarları ve cam ambalaj atıkları, parçalandıktan sonra kırıntı olarak kolayca geri dönüştürülür. Bazı tesislerde bu, ürün reçetesindeki farklılıklar nedeniyle veya ekonomik olarak cazip görülmediği için yapılamayabilir. Teoride, bertaraf edilmesi gereken çok kirli camlar veya büyük kusurları (taşlar, kordonlar) nedeniyle reddedilen camlar dışındaki tüm "sert" cam atıkları bu şekilde geri dönüştürülebilir.

Maden pamuğu sektöründe bu tür ürün atıkları liflidir ve bu nedenle doğrudan fırına geri dönüştürülemez. Bunun çözümü, malzemenin tank fırınları için öğütülerek, taş yünü kupolları için ise briketleme işlemiyle toz haline getirilmesiyle geri dönüşümünü sağlamaktır. Prensipite oldukça basit görünmesine rağmen, bu teknik oldukça pahalıdır ve ancak son zamanlarda artan bertaraf maliyetleri nedeniyle ekonomik olarak uygulanabilir hale gelmektedir. Bu teknik, belgenin yazıldığı dönemde (2010) yaygın olarak uygulanmamaktadır. Cam yünü üretimindeki bir diğer problem, fırında oksitlenmesi gereken materyalin organik içeriğidir. Bu durumda genellikle NO_x salınımı için ayrışan nitratların ve bazı durumlarda aynı zamanda oksitleyici olarak da kullanılan MnO₂ kullanımının artması gerekir. Mümkün olduğunca lifli atık işlenir ve üfleme yünü olarak satılır. Kenar düzeltme atıkları genellikle parçalanır ve doğrudan elyaf tülüne geri dönüştürülür. Bu şekilde geri dönüştürülebilecek atık miktarının bir sınırı vardır (yalnızca kenar düzeltme) ve genellikle yüksek mukavemet gereksinimleri olan ürünler için uygulanmaz.

HTIW sektöründen kaynaklanan lifli atıklar, maden pamuğu ile aynı konuları içermektedir. Sektörde giderek daha fazla elyaflı atık geri dönüştürülmekte ve bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

Kesintisiz cam elyaf üretiminde son derece yüksek kalite gereksinimleri söz konusudur ve belgenin hazırlandığı dönemde (2010), fırına doğrudan geri dönüştürülen atık elyafın bilinen tam ölçekli örnekleri mevcut değildir. Sorunun, elyafın organik bileşenleri ve elyaflı malzemelerin yönetimi ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Atık su sistemlerinden kaynaklanan katı atık

Genellikle, proses suyu sistemlerinden ayrılan atık geri dönüştürülmez ve katı atık sahasına atılır. Başta cam ev eşyaları (kurşun kristal kesme çamuru) olmak üzere bazı sektörlerde, bu atık akışlarının geri kazanılması ve fiyatlandırılması yönünde girişimler devam etmektedir. Çoğu sektörde, düşük hacmi veya öngörülemeyen/kontamine bileşimi nedeniyle bu atığın geri kazanılması finansal olarak uygun değildir.

Cam ambalaj sektöründe, soğutma suyu sistemlerinden kaynaklanan atıklar(yağ ile karıştırılmış ince cam parçacıkları) genellikle tesis içerisinde geri dönüştürülür.

Tüketici sonrası atıkların (örneğin şişe bankalarından gelen) ön arıtması bu kısımda tartışılmamıştır, çünkü bu bir proses atık akışı değildir ve dolayısıyla bu açıdan Direktifin kapsamı dışındadır. Ancak kırıntıların geri dönüşümü, proses üzerinde önemli etkilere sahiptir ve 4.4 ve 4.8 kısımlarında ele alınmıştır. Bu uygulama ayrıca, ergitme sürecinin özgül enerji tüketimini azaltmanın yanı sıra, Direktif kapsamında olumlu bir uygulama olarak değerlendirilen işlenmemiş hammadde tüketimini

azaltma etkisine de sahiptir.

4.8 Enerji

Cam yapımı, yoğun enerji gerektiren bir süreçtir ve enerji kaynağı seçimi, ısıtma tekniği ve ısı geri kazanım yöntemi, fırın tasarımı ve sürecin ekonomik performansı üzerinde büyük öneme sahiptir. Bu seçimler aynı zamanda ergitme işleminin çevresel performansını ve enerji verimliliğini etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Genel olarak, camı ergitme için ihtiyaç duyulan enerji, cam imalatının toplam enerji girdisinin %75'inden fazlasını teşkil edebilir; cam sanayinin tüm sektörleri göz önüne alındığında ortalama değer, toplam enerji girdisinin %65'i civarındadır. Yukarıda belirtilen yüzdeler, kullanım noktasındaki enerjiye atıfta bulunur ve birincil enerjiye göre düzeltilmemiştir (bkz. 3.2.3).

Özgül enerji tüketiminin en aza indirilmesi için mevcut tekniklerin/tedbirlerin uygulanmasıyla elde edilen tipik değerlerin bir özeti, farklı cam sektörleri için sunulan verilerin 3. Bölümde bildirilen istatistiksel veriler (örn. cam ambalaj için toplanan verilerin alt yüzde 50'lik dilimi kullanılmıştır) ile örnek tesis değerleri temel alınarak türetilmiştir Tablo 4.43'te verilmiştir.

Tablo 4.43: Enerji kullanımını en aza indirmek için mevcut tekniklerin/tedbirlerin uygulanmasıyla elde edilen tipik özgül enerji tüketim değerleri

Sektör	Fırın tipi/kapasitesi	GJ/ton ergitilmiş cam ⁽¹⁾	GJ/ton hazır ürün ⁽²⁾
Cam ambalaj			
Şişeler ve kavanozlar	<100 ton/gün	5,5 - 7	<7,7
	>100 ton/gün	3,3 - 4,6	
	Elektrikli fırınlar	2,9 - 3,6	
Flakonaj	<100 ton/gün	7 - 9	<16
	>100 ton/gün	4,8 - 6	
Düz cam			
	Tüm kapasiteler	5 - 7	<8
Kesintisiz cam elyaf			
	Tüm kapasiteler	7 - 14	<20
Cam ev eşyaları			
	Geleneksel fırınlar		<100 t/gün kapasiteler için <24 ⁽³⁾ >100 t/gün kapasiteler için <18
	<100 t/gün ⁽³⁾	6,7 - 9,5	
	>100 ton/gün	5 - 6	
	Elektrikli fırınlar ⁽⁴⁾	3,4 - 4,3	
Özel cam			
Tüm ürünler	Elektrikli fırınlar ⁽⁴⁾	3,9 - 4,5	<20
Soda-kireç camı	Geleneksel fırınlar	5-10	
Borosilikat cam		10 - 15	
Maden pamuğu			
Cam yünü	Tüm kapasiteler	2,7 - 5,5	<14
Taş yünü	Tüm kapasiteler	4,2 - 10	<12
Yüksek Sıcaklık Yalıtım Yünü			
	Tüm kapasiteler	6,5 - 16,5	<20
Fritler			
	Oksi-fuel fırınlar	<9	
	Hava/yakıtlı ve zenginleştirilmiş hava/yakıtlı fırınlar	≤13	

⁽¹⁾ Veriler, fırın enerji tüketimine ilişkindir.

⁽²⁾ Veriler, tesisin genel enerji tüketimine ilişkindir.

⁽³⁾ Değerler, ergitirme işlemi için enerji tüketimi 10 - 30 GJ/ton ergitilmiş cam aralığında olabilen potalı fırınlar veya gündüz fırınlarıyla donatılmış tesisleri içermez.

⁽⁴⁾ Belirtilen değerler, kullanım noktasındaki enerjiye atıfta bulunur ve birincil enerjiye göre düzeltilmemiştir.

Tablo 4.43'te rapor edilen değerler, belirli sektörler için gösterge niteliğindeki rakamları temsil etmektedir; bununla birlikte, ergitergitme fırınının çalışma aralığının tamamını ve belirli bir cam ürünüyle ilgili tüm aşağı akış yönlü faaliyetleri kapsamıyor olabilirler. Nitekim harman reçetesinde kullanılan kırıntı oranı, cam eriyiği için kalite gereksinimleri ve paketlenen ürünün eriyik cama oranı her sektör içinde önemli ölçüde farklılık gösterebilir ve bunun özgül enerji tüketimi üzerinde bir etkisi olabilir. Sunulan değerlerin (elektrikli ergitergitme, elektrikli destekleme, oksî-fuel pişirme için) birincil enerjiye düzeltilmesinin de özgül enerji tüketim seviyeleri üzerinde önemli bir etkisi olabilir.

ErgitErgitme için gerekli enerjinin maliyeti, cam tesislerinin işletim maliyetleri konusundaki en önemli faktörler arasındadır ve operatörler, enerji kullanımlarını azaltmaları konusunda teşvik edilmektedir. Enerji tasarrufu sağlayan tekniklerinin uygulanmasının arkasındaki motivasyon kaynağı, geleneksel olarak ekonomik tasarruflar olmuştur, ancak son zamanlarda enerji kullanımının çevresel boyutu giderek daha önemli hale gelmektedir. Fosil yakıtlı fırınlarda enerji kullanımı ayrıca, yakılan fosil yakıt miktarı ile doğrudan ilişkili olan, özellikle CO₂, SO₂ ve NO_x gibi maddelerin bir ton cam başına doğrudan ve dolaylı emisyonlarını da etkiler. Bu konular, bu bölümün maddeye özgü bölümlerinde tartışılmaktadır.

Enerji kullanımı ve enerji verimliliğini etkileyen ana faktörler, cam sanayiinin her bir sektörü için özgül enerji tüketimi verilerinin sunulduğu 3. Bölümde tartışılmaktadır. Bu kısımda, fırın verimliliğini artırmaya yönelik teknikler tartışılmaktadır.

4.8.1 ErgitErgitme teknikleri ve fırın tasarımı

[19, CPIV 1998] [6, EEO 1995] [15, ETSU 1992]

ErgitErgitme tekniğinin seçimi enerji verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir. Bu seçim, büyük ölçüde bir dizi ekonomik hususa bağlı olarak belirlenir. En önemli faktör, istenen üretim oranı ve buna ilişkin olarak fırının ömrü boyunca söz konusu sermaye ve işletme maliyetleridir. Enerji kullanımı, işletme maliyetlerinin önemli bir boyutunu oluşturur ve operatörler genellikle mümkün olan en enerji verimli tasarımı tercih edecektir.

Geleneksel fosil yakıt ateşlemeli fırınlarda, fırın tasarımındaki temel fark, ısı geri kazanım sisteminin rejeneratörleri mi yoksa bir reküperatörü mü temel aldığıdır. Tasarım ve işletimdeki farklılıklar 2. Bölümde tartışılmaktadır. Tercihi etkileyen temel faktörlerden biri, 4.2 kısmında daha ayrıntılı olarak tartışılan fırın boyutudur.

Rejeneratif fırınlar, yakma gazlarının ön ısıtılmasında 1300 - 1400 °C'ye kadar çıkabilen, yüksek bir sıcaklık yakalar. Reküperatif fırınlarda bu sıcaklık maksimum 750 – 800 °C'dir ve daha iyi ergitergitme verimliliği sağlar. Rejeneratif fırınların reküperatif fırınlara göre genellikle daha büyük olan boyutları da, bunların enerji verimliliğinin daha yüksek olduğu anlamına gelir. Bunun nedeni, yüzey alanı-hacim oranının değişimi dolayısıyla yapısal kayıpların fırın boyutuyla ters orantılı olmasıdır. Modern bir rejeneratif cam ambalaj fırını, %25 - 35'lik atık gaz kayıpları (harman ve kırıntı ön ısıtma uygulandığında % 14-20) ve geri kalan oranın büyük bölümünü oluşturan yapısal kayıplarla birlikte, yaklaşık %50'lik bir genel termal verimliliğe sahip olacaktır. İlave ısı geri kazanımı olmayan bir reküperatif fırının termal verimliliği %20 - 30 civarında olacaktır.

Rejeneratif fırınlar arkadan veya yandan ateşlemeli olabilir. Arkadan ateşlemeli fırınların termal verimliliği teorik olarak daha yüksektir (%10'a kadar), ancak sıcaklık kontrolü daha sınırlıdır ve fırın boyutunda üst limit söz konusudur (güncel olarak, cam ambalajlar için 150 m² civarı). Genel olarak, enerji verimliliğinde fırının çalıştırılmasının rolü, fırın tipine (son ateşlemeli veya yandan ateşlemeli) göre daha önemlidir. Flot camı, sofrta takımları ve flakonaj (parfüm ve lüks kozmetik) fırınları, cam ambalaj fırınlarından daha az verimlidir, çünkü kalite gereksinimleri ve/veya rafinasyon kimyası nedeniyle çekiş oranları çok daha düşüktür.

Rejeneratörler ile geri kazanılan enerji miktarı, kullanılan refrakter tuğlaların sayısı artırılarak en üst düzeye çıkarılabilir. Pratikte, bunlar genişletilmiş rejeneratör odalarında veya ayrı fakat bağlantılı yapılar olarak organize edilebilir, çok geçişli rejeneratör terimi buradan gelir. Rejeneratör verimliliği asimptotik olarak maksimum limitine yaklaştıkça azalan getiriler ilkesi geçerli olur. Başlıca sınırlamalar, ekstra refrakter tuğlaların maliyeti, mevcut fırınlarda ise mevcut alanın ve fırın altyapılarında yapılması gereken modifikasyon maliyetidir. Yandan ateşlemeli fırınlarda bazı uygulamalar yapılmış olsa da, bu prensip genellikle basit rejeneratör geometrileri nedeniyle arkadan ateşlemeli fırınlara daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Mevcut fırınlardaki rejeneratör yapılarının modifikasyonu (tesis yerleşimi göz önüne alındığında teknik ve ekonomik olarak mümkünse) sadece fırının yeniden inşası sırasında gerçekleştirilebilir. Rejeneratör çalıştırma sürecinin başlangıcında, orijinal tek geçişli rejeneratörün boyutuna bağlı olarak, enerji tüketimi tipik tek geçişli rejeneratörlü eşdeğer bir fırına kıyasla %15'e kadar azaltılabilir. Diğer yandan çok geçişli rejeneratörlerin kullanımı, kamaraların temizlik ihtiyacı ve müteakip enerji verimliliğinde bir düşüş ile birlikte, potansiyel yoğunlaşma sorunları ile ilişkilendirilebilir. Tek geçişli rejeneratörlerle donatılmış modern fırınlar, %65'e yakın ısı geri kazanım verimliliği gösterir. Bu durumlarda, çok geçişli rejeneratörlerin kullanımı fırının enerji verimliliğinde önemli iyileştirmeler sağlamayacaktır.

Tek olumsuz etki, fırın ömrünün sonunda işlenecek refrakter malzeme hacminin artmasıdır. Bu, sınırlı bir olumsuz etkidir, zira ekstra refrakter tuğlaların önemli bir kısmı iki veya daha fazla fırın çalıştırılma ömrü boyunca kullanılabilir, ayrıca bu malzemelerin geri dönüşümü için çözümler mevcuttur ve geliştirilmeye devam edecektir. Çok geçişli rejeneratörlerle donatılmış fırınların artan hava ön ısıtma sıcaklıkları, potansiyel olarak alev sıcaklığını ve dolayısıyla NO_x oluşumunu artırıcı bir faktörü olsa da, pratikte, bu fırınlar kaynakta uygun azaltma tedbirleri alındığı takdirde yüksek NO_x seviyelerine sebep olmamaktadır.

Rejeneratörlerde ısı depolama ortamı ve dolgu olarak kullanılacak çeşitli malzemeler mevcuttur. En basit çözüm, açık veya "sepet örgüsü" şeklinde istiflenmiş refrakter tuğlaların kullanılmasıdır ve bu genellikle rejeneratöre yaklaşık % 50 veya daha fazla verimlilik sağlayacaktır (atık gazdaki ısıya kıyasla hava ile geri kazanılan ısı). Bununla beraber, özel şekillendirilmiş dolgu malzemeleri kullanılarak ısı transferi iyileştirilebilir. Örneğin, erimeli dökümlü oluklu artı biçimindeki formlar, standart tuğla dolgu ile karşılaştırıldığında ısı değişimi verimliliğini artıracaktır. Bu tip refrakter tuğlaların enerji tüketimine etkisi, rejeneratörün başlangıçtaki durumuna ve boyutuna bağlıdır; yaklaşık %7'lik yakıt tasarrufları bildirilmiştir. Ek olarak, bu malzemeler atık gaz akışındaki uçucu maddelerin kimyasal saldırılarına karşı çok dirençlidir ve çalışma boyunca performansları (tuğlalara kıyasla) çok daha düşük oranda azalır. Şimdiye kadar (2010), artı şeklindeki parçalar bir rejeneratöre yerleştirildiğinde oluklu şekillerin kullanımı genelleştirilmiştir.

Bir rejeneratörün maksimum teorik verimi %77 civarındadır; çünkü bir fırından çıkan atık gazların kütlesi, gelen yanma havasının kütlesini, egzoz gazlarının ısı kapasitesi ise yanma havasının ısı kapasitesini aşar. Pratik açıdan verimlilik, maliyetle sınırlı olacak, rejeneratörlerin boyutu büyüdükçe yapısal kayıplar daha önemli hale gelecektir. Pratikte, verimi %70'in üzerinde olan maliyet etkin bir rejeneratör tasarımı gerçekleştirmek zordur.

Fırın geometrisi, hem cam kalitesini iyileştirmek hem de enerji tasarrufu sağlamak amacıyla termal akımları ve ısı transferini optimize etmek için sürekli olarak iyileştirmelerden geçmektedir. Gelişmeler sıklıkla emisyonları azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için yanma sistemleri üzerinde yapılan gelişmelerle birleştirilir. Fırın geometrisindeki değişiklikler sadece yeni fırınlar veya komple yenilemeler söz konusu olduğunda mümkündür ve bu tür durumlarda dahi, yapılabilecek çalışmalar çelik işleri ve mevcut altyapı ile sınırlı olabilir.

Kısmi veya % 100 elektrikli ergitme, tesis düzeyinde düşünüldüğünde enerji verimliliğini artırır, ancak enerji üretim verimliliği ve dağıtım kayıpları dikkate alındığında durum bu kadar kesin değildir. Bu teknikler 4.2 kısmında daha ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Oksi-fuel ergitme de aha düşük enerji tüketimi sağlayabilir; bu karmaşık konu 4.4.2.5'te daha ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Geçtiğimiz yıllarda refrakter malzemeler konusunda gösterilen gelişmeler, fırınların daha uzun süreler ve daha yüksek yalıtım seviyeleriyle çalışmasına imkan vermiştir. Geçmişte, fırının üst yapısının maruz kalabileceği sıcaklık sınırlaması yüksek yalıtım için sınırlayıcı bir faktör olmuştur. Günümüzde yalıtım, fırının ilgili bölümüne ve çalışma koşullarına (sıcaklık, cam türü vb.) göre dikkatlice tasarlanmalıdır. Fırının tüm parçaları yalıtılamaz. Ergitken hattı ve boğaz yalıtımsız bırakılmalıdır ve fırın ömrünü uzatmak için soğutulmaları gerekecektir. Çoğu cam temas ve üst yapı refrakterleri, düşük gözenekli, çok yoğun erimeli döküm veya sinterlenmiş krom oksit malzemelerdir ve sıvı cama ve üst yapıdaki uçucu bileşiklere direnç gösterebilir. Bunlar yüksek termal iletkenliğe sahiptirler ve genel olarak, önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlayan iyi seviyede bir yalıtıma ihtiyaç duyarlar. Soda-kireç camında, tavan normalde silikadır ve yoğun şekilde yalıtılmıştır. Oksi yakıtla çalışan fırınlar için, alkali buharlarının olası saldırılarına karşı koymak için başka malzemeler (ergitirmeli döküm alümina veya AZS) uygulanabilir. Silika, fırın tavanı sıcaklığını 1600 – 1620 °C ile sınırlarken; ergitirmeli döküm AZS, mullit veya ergitirmeli döküm alümina gibi diğer refrakter tavan malzemeleri, 1620 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara da dayanabilir. Fırın sıcaklığındaki herhangi bir artış, NO_x emisyonlarını ve harmanın uçucu bileşenlerinden kaynaklanan herhangi diğer emisyonları da olumsuz etkileyebilir.

Düşük bir yapısal hasar riski ile, fırının belirli alanlarına ilave yalıtım uygulanabilir. Püskürtme elyaf yalıtımı rejeneratör yapısına uygulandığında ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu basit ve maliyet etkin teknik, rejeneratör yapısından ısı kayıplarını %50'ye kadar azaltabilir ve %5 civarında enerji tasarrufu sağlayabilir. Ayrıca, malzemenin rejeneratör yapısındaki çatlakları etkili bir şekilde doldurarak soğuk hava girişini ve sıcak hava kaçışını azaltması gibi ek bir fayda da mevcuttur.

4.8.2 Yanma kontrolü ve yakıt seçimi

[6, EEO 1995] [15, ETSU 1992]

Doğal gaz kullanımının popülaritesi artmakta olmasına rağmen, son yıllarda cam yapımında fuel oil kullanımı giderek artmaktadır. Güncel olarak, her iki yakıtın kullanımı benzer seviyededir. Doğal gaz kullanımı daha düşük SO_x emisyonlarına neden olsa da, genellikle NO_x emisyonlarının artmasına yol açar. Bunun nedeni, doğal gaz alevinin daha az ışıması ve gazlı pişirmede ortaya çıkan baca gazlarının ısı kapasitesinin (yanma GJ'si başına) petrolle pişirmenininkinden farklı olmasıdır. Bu, aynı baca gazı sıcaklıklarında dahi farklı ısı kayıplarına ve genel olarak, doğal gaz için fuel oil'e kıyasla yaklaşık %7-8 fazla olan, daha yüksek enerji tüketimine neden olur. Diğer yandan, gazlı ateşlemede deneyim arttıkça, elde edilen performans seviyeleri petrolle ateşleme ile ilişkilendirilenlere giderek yaklaşma olsa da, genel olarak petrolle çalıştırılan fırınlar halen daha yüksek enerji verimliliği göstermektedir. Doğal gaz daha yüksek bir hidrojen-karbon oranına sahiptir ve kullanımı, belirli bir çekme hızı için toplam CO₂ emisyonlarını % 25'e kadar azaltır.

Düşük NO_x'li brülör sistemlerindeki gelişmeler de enerji tasarruflarına katkıda bulunmuştur. Yanma havası miktarının azaltılarak stokiyometrik seviyelere yaklaştırılmasıyla, atık gaz ile daha az enerji kaybı olur.

NO_x giderimine yönelik geliştirmeler sırasında yakma sisteminde, ısı transfer sistemlerinde ve genel proses kontrolünde yapılan iyileştirmeler, birçok durumda fırın işletiminde ve verimliliğinde de gelişmeleri de beraberinde getirmiştir.

Geçmişte enerji verimliliğini ve çekme oranını iyileştirmek için sıklıkla kullanılan bir teknik, yanma havasının oksijenle zenginleştirilmesiydi. Azaltılmış gaz hacimleri ve daha yüksek alev sıcaklıkları enerji verimliliğini iyileştirse de, bu teknik dikkatlice kontrol edilen düşük NO_x'li yakma sisteminin bir parçası değilse, NO_x seviyeleri önemli ölçüde artabilir. Bu çevresel kaygılar nedeniyle tekniğin tek başına kullanımı azalmaktadır. Bununla birlikte, azotun havadan ayrıldığı (flot camı üretiminde kalay banyosu odası için) ve dolayısıyla oksijenle zenginleştirilmiş havanın mevcut olduğu durumlarda genellikle oksijenle zenginleştirme uygulanır.

4.8.3 Cam kırıntılarının kullanımı

[30, Infomil 1998] [15, ETSU 1992]

Cam fırınındaki kırıntı kullanımı, enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabilir ve genellikle fosil yakıtla ve oksi yakıtla çalışan veya elektrikli fırınlar gibi, tüm fırın türlerinde uygulanabilir. Cam sanayiinin birçok sektöründe tesis içi kırıntılar rutin olarak geri dönüştürülür. Bunun asıl istisnaları, kesintisiz cam elyaf (kalite kısıtlamaları nedeniyle mümkün görülmediği durumlarda) ve frit üretimidir (bu tür cam kırıntıları üretilmez). Taş yünü sektöründe, elyaflaşmamış parçalar ve baypas eriyiği, yalnızca briketleme prosesi uygulanıyorsa geri dönüştürülür (bkz. 3.8.4). Harmandaki temel iç kırıntı seviyesi genellikle %10 ila %25 aralığındadır.

Kırıntıların erime enerjisi gereksinimi bileşen hammaddelere göre daha düşüktür, çünkü cam oluşumu ile ilişkili endotermik kimyasal reaksiyonları tamamlanmıştır ve kütlesi, eşdeğer Harmandaki hammaddelerden yaklaşık %20 daha düşüktür. Bu nedenle, harmandaki cam kırıntısının arttırılması, enerji tasarrufu sağlayabilir; genel bir kural olarak, fazladan eklenen her %10'luk kırıntı oranı, fırının enerji tüketimini %2,5 - 3,0 azaltır. Genel olarak kırıntı kullanımı, hem enerji hem de hammadde ihtiyaçlarındaki azalmanın bir sonucu olarak, önemli düzeyde maliyet tasarrufu sağlar. Ancak kırıntıların fiyatı önemli ölçüde artmakta ve bulunabilirliği giderek zorlaşmaktadır; dolayısıyla kırıntı kullanımı her zaman ekonomik olarak faydalı olmayabilir.

Tesis içi kırıntılar (üretim hattından geri gönderilen cam) ve yabancı kırıntılar (tüketim sonrası veya harici endüstriyel kaynaklardan gelen cam) arasında ayırım yapılmalıdır. Yabancı kırıntıların bileşimi çok iyi tanımlanmamıştır ve bu durum uygulamayı sınırlar. Kaliteye dair hususlar, harman reçetesinde kırıntı kullanımını sıklıkla sınırlar; zira kırıntılardaki safsızlığı tespit etmek ve gidermek zordur. Bu durum, özellikle lüks cam ambalajlar (parfüm ve kozmetik için ekstra billur kristal şişeler veya flakonaj), sofr gereçleri, özel cam ve düz cam üretiminde, nihai ürünün yüksek kalite gereksinimlerinin yabancı cam kırıntılarının kullanımını kısıtladığı yerlerde geçerlidir. Bununla birlikte, cam ambalaj sektörü, şişe geri dönüşüm programları ile önemli miktarlarda yabancı kırıntı kullanma avantajına sahip olduğundan, özel bir yere sahiptir. Cam kırıntılarının geri dönüştürülmesi, başta ambalaj atıklarının geri dönüştürülmesine yönelik hedefleri belirleyen 94/62/AK sayılı Direktif olmak üzere, Avrupa mevzuatı ile düzenlenmektedir. Bu yazının yazıldığı tarihte (2010), özel planların oluşturulduğu durumlar dışında, harici cam kırıntılarının önemli kullanımı, cam ambalaj sektörü ve özellikle cam yünü başta olmak üzere maden pamuğu sektörünün bazı alanlarıyla sınırlıdır. Yabancı kırıntıların en büyük kullanıcısı cam ambalaj sektörü olsa da, müşteriler tarafından talep edilen bazı nihai cam ürünleri (ekstra billur kristal şişeler, parfüm ve kozmetik şişeleri) için yüksek kalite gereksinimleri, safsızlık içeriği nedeniyle mevcut cam kırıntılarının kalitesi ile uyumlu olmayabilir; dolayısıyla harman reçetesinde kullanımı azalır. Tüketim sonrası cam kırıntılarının cam üretiminde hammadde olarak kullanıma uygun hale getirilmesinde maliyetli bir işleme ihtiyaç duyulur. Kalite taleplerinin daha yüksek veya kullanılabilir yabancı kırıntıların daha az olduğu (örn. düz cam) cam sektörleri, atıklarının geri dönüştürülmesi için büyük tüketicilerle sözleşme yoluna gidebilir.

Cam ambalaj üretiminde yabancı cam kırığı kullanımı < %20 ila > %90 arasında değişmekte olup, AB ortalaması %50 civarındadır.

Geri dönüşüm oranları, tüketim sonrası cam toplama programlarına bağlı olarak Üye Devletler arasında büyük farklılıklar göstermektedir.

Cam ev eşyaları sektöründe, kaliteye dair hususlar, genellikle işlemede yabancı kırıntıların kullanılmasını engeller. Tesis içi cam kırıntılarının kullanımı, uygun kalite ve bileşime sahip kullanılabilir kırıntı miktarıyla sınırlıdır. Genellikle üretilen gercin tipine bağlı olarak %50'ye varan miktarlar mümkün olsa da, soda-kireç ürünleri için kullanılan ortalama tesis içi kırıntı miktarları %25 civarındadır; kurşun kristal için ise normalde %35'lik ortalama miktarlar uygulanır.

Renkli camın rengi giderilemediğinden, kristal (renksiz cam) üretiminde çok düşük seviyelerde renkli cam kırığı tolere edilebilir. Bu nedenle, geri dönüşümü en üst düzeye çıkarmak için, ana cam renklerinin toplandığı ya da alternatif olarak, karışık toplamadan gelen cam kırıntılarının renk sınıflandırmasına tabi tutulduğu geri dönüşüm programlarına ihtiyaç duyulur. AB genelinde çoğunlukla bol miktarda karışık renkli, yeşil ve kahverengi cam kırıntısı mevcuttur. Bununla birlikte, kristal cam kırıntıları daha az yaygın olma eğilimindedir ve bu durum nedeniyle, renkli cam ergitme fırınları, özellikle farklı renklerin bir karışımının kullanılabilmesi için daha yüksek kırıntı seviyelerinde çalışır. Durum, bölgesel farklılıklar dolayısıyla Üye Devletler arasında önemli ölçüde farklılık göstermektedir; örneğin, üretimin büyük bir kısmı kristal cam olduğu, ancak cam kırıntılarının önemli bir kısmı ithal şarap şişeleri ile renklendirilmiş olduğu Birleşik Krallık'ta sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle Birleşik Krallık'taki fırın kırıntı seviyeleri ortalama olarak daha düşüktür.

Fırının çalıştırılması açısından, yüksek seviyelerde kırıntı kullanımı, düşük partikül emisyonları gibi başka faydalar da sağlayabilir. Kırıntıların ön ısıtması, harmana kıyasla daha kolaydır. Fırının çıktısını da büyük ölçüde artırabilen yüksek kırıntı seviyelerinde çalışma konusunda, üretici için aşağıda sıralananlar gibi bir takım dezavantajlar da mevcuttur.

- Şişe kapakları veya şarap şişelerindeki folyolar gibi metalik safsızlıklar, refrakterler üzerinde ciddi hasarlara neden olabilir ve fırının ömrünü kısaltabilir. Metallerin dibe çökmesiyle "aşağı yönlü delme" olarak bilinen olay gerçekleşir. Ergitme fırınının refrakter tabanında biriken metaller veya metal damlacıkları (özellikle kurşun), bu damlacıkların çevresinde meydana gelen yüzey gerilimi gradyanları tarafından hızlandırılan refrakter malzeme çözünmesi nedeniyle, taban malzemesini deler. Metal kontaminasyonu, kurşun kristal camın varlığı ve cam kırıntılarında indirgeyici bileşenlerin bulunması, camda kusurlara neden olabilir.
- Eriyik camda çok düşük çözünme hızına sahip çömlek ve fayanslar ile cam seramikler gibi seramik eklemeler, nihai üründe genellikle opak bir renge sahip "topaklar" ortaya çıkaracak ve iskartalara yol açacaktır.
- Yüksek kırıntı seviyelerinde, bileşimin kontrolü ve dolayısıyla cam eriyiğinin fiziksel özellikleri olumsuz etkilenebilir ve nihai ürünün kalitesi üzerinde sorunlara yol açabilir. Özellikle organik maddenin değişken içeriği (gıda kalıntıları, kağıt etiketler, plastikler), renk ve rafinasyonda zorluklara neden olan yükseltgeme-indirgeme sorunlarına yol açabilir.
- Alüminyum kapaklar ve folyolar, cam silikasının silikon metaline (Si) indirgenmesine neden olan güçlü lokal indirgeyiciler olarak hareket eder. Cam ürünlerdeki silikon, cam ve silikon arasındaki yüksek termal genleşme katsayısı farkından kaynaklanan gerilmeler nedeniyle camın mekanik mukavemetini önemli ölçüde azaltan küçük boncuklar halinde toplanır.
- Cam kırıntılarından gelen safsızlıklar hava emisyonlarına (kurşun, flor ve bor bileşikler vb.) yol açabilir.

Kırıntı kullanımıyla elde edilmesi mümkün olan önemli enerji tasarruflarının yanında, bununla ilişkili bir dizi diğer önemli çevresel fayda da vardır. CO₂, SO_x, NO_x ve toz emisyonları, yakıt tüketiminin azaltılması ve düşük fırın sıcaklıkları ile büyük ölçüde azaltılır. Diğer uçucu maddelerin emisyonları da düşük sıcaklıklarda azalabilir. Ancak cam kırıntılarındaki safsızlıklar daha yüksek HCl, HF ve metal ve SO_x emisyonlarına (düşük kükürt içerikli cam üretimi söz konusu olduğunda) yol açabilir. Bu durum, özellikle geri dönüştürülmüş malzemede safsızlıkların birikmesinin mümkün olduğu, yüksek oranda geri dönüşümün gerçekleştirildiği alanlar için geçerlidir. Cam yapımında kullanılan hammaddelerin çoğu karbonatlar ve sülfatlardır ve ergitme esnasında CO₂ ve SO_x salınımına neden olurlar.

Kırıntı kullanımının artırılması, bu tür hammadde kaynaklı emisyonları ve işlenmemiş hammadde tüketimini azaltır.

4.8.4 Atık ısı kazanı

Bu tekniğin prensibi, buhar üretmek için atık gazları doğrudan uygun bir borulu kazandan geçirmektir. Buhar, ısıtma amacıyla (alan ısıtması veya yakıt depolama ve boru tesisatının ısıtılması) veya elektrik üretim ekipmanını veya hava kompresörleri veya IS makinesi vantilatör fanları gibi tesis öğelerini çalıştırmak için uygun bir buhar motoru veya türbinde kullanılabilir.

Rejeneratörlerden/rekuperatörlerden gelen gazların sıcaklığı genellikle 600 ila 300 °C aralığındadır. Çıkış sıcaklığı, geri kazanılması mümkün ısıyı belirler. Bu ısı, kazandaki yoğunlaşma riski ve bacanın düzgün çalışmasının sağlanması nedeniyle yaklaşık 200 °C ile sınırlıdır. Fırın atık gazlarına maruz kalan kazan boruları, yoğunlaşmış malzemelerle (bileşime bağlı olarak örn. sodyum sülfat) kaplanabilir ve borulardaki metal yapı ile reaksiyona girebilecek baca gazlarının sıcaklığına ve bileşimine bağlı olarak, yapışkan ve aşındırıcı bileşikler (örn. sodyum bisülfat) oluşabilir. Bu nedenle, geri kazanım verimliliğini korumak için kazan boruları periyodik olarak temizlenmelidir (bu, toz giderme cihazlarının aşağı akış yönünde çalışan kazanlar için o kadar önemli değildir). Yerinde temizlik, buharla otomatik olarak, mekanik yollarla veya periyodik bakımla gerçekleştirilebilir.

Tekniğin uygulanabilirliği ve ekonomik fizibilitesini, elde edilmesi mümkün olan genel verimlilik (üretilen buharın etkili kullanımı dahil) belirler. Pratikte, atık ısı kazanları sadece rejeneratör/rekuperatör sistemlerinin aşağı yönündeki fazlalık ısı için değerlendirilmiştir ve oksi-fuel fırınlarda bunun en az iki örneği olduğu düşünülmektedir (bkz. Tablo 4.18). Çoğu durumda, verimli güç üretimi için geri kazanılabilir enerji miktarı düşüktür ve türbinleri çalıştırmak için kızgın buhar üretmek amacıyla ek ateşleme gerekebilir. Daha yüksek atık gaz sıcaklıklarına sahip rekuperatif fırınlar veya birkaç fırından çıkan atık gazları gruplandırmanın mümkün olduğu tesisler, enerji üretimi için daha fazla fırsat sunar. Atık ısı kazanları, endüstriyel olarak bazı cam ambalaj tesislerinde kullanılmaktadır, ancak uygulamaların çoğu flot cam fırınlarındadır. Almanya'daki tüm flot camı fırınları ile diğer Üye Devletlerde bulunan birçok fırın, atık ısı kazanlarına sahiptir.

Yatırım maliyetleri, performansa ve geçerli enerji fiyatlarına bağlı olarak değişen kâra geçme süreleriyle, 1 milyon Euro'yu aşabilir. Birincil enerji verimliliğinde sürekli olarak iyileştirmeler, atık ısı kazanlarının maliyet etkinliğine zarar vermektedir. Bazı uygulamaların kâr getirme süreleri pek cazip olmayabilir, ancak bu durumdan duruma değişiklik gösterecektir. 3R süreci, mevcut atık ısı kazanı sistemlerini daha verimli hale getirmeye yardımcı olabilir ve tesis için önerilen herhangi yeni bir sistemin ekonomik performansını artırması muhtemeldir. Bununla birlikte, atık ısı kazanı kurulumunun herhangi bir nedenden dolayı uygunsuz olduğu veya ekonomik olarak cazip olmadığı düşünülüyorsa, 3R sürecinin kurulumu bu durumu değiştirebilir.

Tablo 4.44'te cam sanayinin farklı sektörlerinde atık ısı kazanlarının (ısı eşanjörlerinin) kullanıldığı örnek tesislere ilişkin veriler sunulmuştur.

Tablo 4.44: Cam sanayiinin farklı sektörlerinde kullanılan atık ısı kazanlarının örnek kurulumları

Cam türü	Ambalaj	Ambalaj	Düz	Flot	Özel	Özel
Fırın tipi	Oksi ateşlemeli (2 fırın)	Arkada brülör port, rejeneratif	Yanda port, rejeneratif	Yanda port, rejeneratif	Oksi ateşlemeli	Yanda port, rejeneratif
Yakıt	Doğalgaz	Doğal gaz/fuel oil	Fuel oil	Doğal gaz/fuel oil	Doğalgaz	Doğal gaz/fuel oil
Fırın kapasitesi	650 ton/gün (toplam)	300 ton/gün	350 ton/gün	800 ton/gün	40 ton/gün	220 ton/gün
Fiili çekme oranı	502 ton/gün (toplam)	297 ton/gün	259 ton/gün	700 ton/gün	40 ton/gün	180 ton/gün
Son büyük onarım	2000 - 1996	1997	2000	2002	2004	
Elektrikli destekleme		Evet	Evet	Evet	Evet	Evet
Cam türü	Kahverengi-yeşil	Kahverengi	Beyaz, bronz, sarı	Beyaz	Cam seramikleri	Mevcut değil
Kırıntı	%66 (ortalama)	%72	%30	%35	%50	%25
Isı eşanjörü tipi	Tüp demeti	Tüp demeti	Borulu	Borulu		Borulu
Kurulum yeri	Torbalı filtreden önce	ESP'den sonra	ESP'den önce	ESP'den önce	Torbalı filtreden önce	ESP'den sonra
Isı taşıyıcı	Su/Buhar	Su/Buhar	Su/Buhar	Su/Buhar	Su/Buhar	Su/Buhar
Geri kazanılan enerjinin kullanımı	Elektrik enerjisi, basınçlı hava	Elektrik enerjisi, endüstriyel su	Endüstriyel su, pişirme, yağ ön ısıtma	Endüstriyel su, elektrik, pişirme	Endüstriyel su	Evsel kullanım için su
Tozsuzlaştırma	Hat üzerinde	Hat üzerinde	Hat üzerinde	Hat üzerinde	Mevcut değil	Yok
Toz bertarafı	Harmana ekleme	Harmana ekleme	Özel bertaraf	Geri dönüşüm veya özel bertaraf	Mevcut değil	Geri dönüşüm veya özel bertaraf
Sıcaklık farkı	1380 ila 200 °C	Yaklaşık 150 °C	Yaklaşık 200 °C	Mevcut değil	Mevcut değil	Mevcut değil
Geri kazanılan enerji miktarı	6472 kWh/s	1500 kwh/s (tahmini)	1500 kwh/s	3000 kwh/s	550 kwh/s	1140 kwh/s
Özgül ısı geri kazanımı	0,31 kwh/kg cam	0,12 kwh/kg cam (tahmini)	0,14 kwh/kg cam	0,10 kwh/kg cam	0,33 kwh/kg cam	0,15 kwh/kg cam
Özgül enerji tüketimi	4,20 GJ/t ergitilmiş cam (ortalama)	4,21 GJ/t ergitilmiş cam	5,71 GJ/t ergitilmiş cam	5,20 GJ/t ergitilmiş cam	12,31 GJ/t ergitilmiş cam	16,44 GJ/t ergitilmiş cam
Yatırım/değiştirme maliyetleri ⁽¹⁾		1,67 milyon Euro ⁽²⁾	0,5 milyon Euro ⁽²⁾	1,0 milyon Euro ⁽²⁾		
Amortisman süresi		10 yıl	10 yıl	10 yıl		
İşletme maliyetleri		33500 Euro	60000 Euro	70000 Euro		
Yıllık amortisman maliyetleri		222111 Euro	65000 Euro	133000 Euro		
Toplam yıllık maliyetler ⁽¹⁾		255611 Euro	255611 Euro	203 000 Euro		
Bir ton cam için tahmini maliyetler		2,36 Euro/ton cam	1,34 Euro/ton cam	0,79 Euro/ton cam		

⁽¹⁾ Maliyet verileri, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir.

⁽²⁾ Eşanjör için yatırım maliyetlerine aksesuarlar da dahildir.

Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]

4.8.5 harman ve kırıntı ön ısıtma;

[30, Infomil 1998] [65, 2007 GEPVP-GLS revizyonu için tavsiyeler]

Açıklama

Harman ve kırıntılar normalde fırına soğuk olarak verilir, ancak atık gazların harman ve kırıntıların ön ısıtılması için kullanılmasıyla önemli seviyede enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu sadece fosil yakıtla çalışan cam fırınları için geçerlidir. Taş yünü sanayiinde ağırlıklı olarak, hammaddelerin ön ısıtmasını kendiliğinden gerçekleştiren bir tasarıma sahip olan kupol ocakları kullanılır.

Ön ısıtma sıcaklıkları tercihen 270 °C'den düşük olmamalı ve 500 – 550 °C'yi geçmemelidir. Pratikte çoğu harman ve kırıntı ön ısıtıcısı, 275 ve 325 °C arasındaki harman ön ısıtma sıcaklıklarında çalışır.

Harman/kırıntı ön ısıtıcıları Nienburg/Interprojekt (doğrudan ön ısıtma), Zippe (dolaylı ön ısıtma) ve Sorg (doğrudan ön ısıtma) tarafından geliştirilmiş ve kurulmuştur. Güncel ismi Praxair EGB olan Edmeston tarafından da bir kombine ön ısıtıcı-elektrostatik toz tutucu geliştirilmiş ve kurulmuştur. ABD'de yaklaşık 1300 °C'lik yüksek sıcaklıktaki baca gazları için yeni bir tip geliştirilmektedir; bunda harmanın ve kırıntıların yaklaşık 500 °C'ye kadar ön ısıtmasının sağlanması hedeflenmektedir.

Mevcut sistemler aşağıda açıklanmıştır.

- Doğrudan ön ısıtma - bu tür ön ısıtmada, çapraz akış ile baca gazı ve hammaddenin (kırıntı ve harman) doğrudan teması söz konusudur. Atık gazlar, rejeneratörün arkasındaki gaz kanalı ile ön ısıtıcıya verilir. Daha sonra ön ısıtıcıdaki boşluklardan geçerek hammadde ile doğrudan temasları sağlanır. Kırıntı ve harmanın çıkış sıcaklığı yaklaşık 300 °C'dir ve 400 °C'ye kadar çıkabilir. Sistemde, ön ısıtıcı kullanımının uygun olmadığı veya imkansız olduğu durumlarda fırının çalışmaya devam etmesini sağlayan bir baypas yol bulunur. Doğrudan ön ısıtıcılar Nienburg/Interprojekt ve Sorg tarafından geliştirilir ve kurulur. Doğrudan cam kırığı ön ısıtmada örnek bir tesis uygulaması, Tablo 4.45'te rapor edilmiştir.
- Dolaylı ön ısıtma - dolaylı ön ısıtıcı, prensipte, malzemenin içinde dolaylı olarak ısıtıldığı çapraz akışlı, plakalı bir ısı eşanjörüdür. Modüler bir formda tasarlanmıştır ve üst üste yerleştirilmiş ayrı ısı eşanjörü bloklarından oluşur. Bu bloklar da yatay atık gaz ve dikey malzeme hunilerine bölünmüştür. Malzeme hunilerinde, malzeme yerçekimi ile yukarıdan aşağıya doğru akar. Verimliliğe bağlı olarak, malzeme 1 - 3 m/saat'lik hıza ulaşır ve normal şartlarda ortam sıcaklığından yaklaşık 300 °C'ye kadar ısıtılır. Baca gazları ön ısıtıcının alt kısmından alınarak özel dolambaçlı huniler vasıtasıyla üst kısma akar. Atık gazlar, ayrı modüllerden geçerek yatay olarak akar. Tipik olarak baca gazları yaklaşık 270 - 300 °C kadar soğutulacaktır. Dolaylı kırıntı ön ısıtıcısı Zippe tarafından geliştirilmiştir.
- Praxair EGB filtresi - Edmeston elektrikli granül yatağı (EGB) filtre sistemi, toz giderme için elektrostatik toz tutucu ile doğrudan cam kırıntı ön ısıtıcısı arasında, hibrit bir sistemdir. Uygulama yabancı ve tesis içi kırıntıların kullanıldığı iki farklı aşamadan oluşur. Her iki kırıntı akışının da ön ısıtması yapılır, ancak ön ısıtma şekilleri farklıdır. Baca gazlarındaki tozu yakalamak için elektrostatik alanda sadece, piroliz ünitesinde (birinci ön ısıtıcı aşaması) arıtdıktan sonra hem tesis içi hem de yabancı kırıntı ile çalışan bölüm kullanılır. Bu yazının yazıldığı tarihte (2010) Praxair EGB cam kırığı ön ısıtıcısı Avrupa'daki cam sanayiinde kullanılmamaktadır. ABD'deki Leone Glass'ta, kristal ambalaj camı üreten oksit yakıtlı bir fırınla bağlantılı olarak, entegre bir cam kırığı filtre yatağı bölümünü içeren bir uygulama yürütülmektedir. Geri dönüştürülmüş cam kırıntıları (tesis içi ve yabancı) kullanan oksit-fuel ambalaj camı fırınından çıkan baca gazları, yabancı cam kırıntıları ile birlikte bir cam kırığı ön ısıtma bölümüne taşınır (1. aşama). Birinci ön ısıtma aşamasında yabancı kırıntılardan salınan organik dumanlar pirolize edilir ve fırından çıkan ikinci bir baca gazı akışı ile birleştirilir. Kombine gaz akışı, baca gazlarında bulunan toz parçacıklarının yüklendiği bir iyonlaştırıcı odasına girer.

Yüklü toz parçacıklarını içeren sıcak baca gazları, elektrot plakaları ile donatılmış bir cam kırığı ön ısıtıcısına girer (2. aşama). Ön ısıtıcı, ilk ön ısıtma aşamasından itibaren sürekli olarak tesis içi (temiz) cam kırığı ve yabancı cam kırığı ile beslenir. Elektrostatik alanlar, yüklü toz parçacıklarını tutulmak üzere cam kırığı yüzeyine getirir. Ön ısıtması yapılan (400 °C'ye kadar) kırıntı malzemeleri ve yapışan toz parçacıkları cam ergitme fırınına yüklenir.

Elde edilen çevresel faydalar

Bu teknikler, duruma göre değişiklik gösterebilen bir dizi çevresel etkiye sahiptir. Genel olarak, aşağıda verilen faydalar tecrübe edilmiştir.

- Yüzde 10 ile 20 arasında özgül enerji tasarrufu ile CO₂ emisyonlarında azalma.
- NO_x emisyonlarında azalma (daha düşük yakıt gereksinimleri ve fırın sıcaklıkları sayesinde). Ancak çoğu durumda enerji tasarrufu fırın çekişini artırmada kullanılır.
- Doğrudan ön ısıtmada baca gazındaki asidik bileşikler SO₂, HF, ve HCl'nin sırasıyla %60, %50 ve %90 oranlarında azaltıldığı (kırıntı yatağı öncesi ve sonrası arasındaki fark olarak) görülmüştür.
- Harmanın 300°C'ye ön ısıtması ile, mevcut cam fırınlarına yapılan uygulamalar için çekme oranında %10 – 15'e varan bir artış mümkündür.
- Kuru yıkama maddesi ihtiyacının azaltılması veya ortadan kaldırılması.

Ortamlar arası etkiler

Bu teknik, fırının ömründen ödün verilmeksizin kapasitesinde % 10 - 15 oranında artış sağlayabilir. Çekme hızı artırılmazsa, fırın ömründe az bir artış dahi mümkün olabilir. Teknik, fırına daha fazla ısı verilmesi ile, elektrikle desteklenmesi ihtiyacını da azaltabilir.

Bazı durumlarda, cam kırığındaki organiklerin seviyesine bağlı olarak, kırıntıların ön kurutması sırasında açığa çıkan organik dumanlar nedeniyle ön ısıtıcıdan koku oluşumuyla ilgili sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunlar, dışarıdan gelen cam kırıntılarında bulunan gıda kalıntılarının ve diğer organik maddelerin yanması ve buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Bu sorunlar için çözümler geliştirilmektedir (örn. atık gaz yakma).

Doğrudan bir ön ısıtıcının kullanılması artan partikül madde emisyonlarına (2000 mg/Nm³'e kadar) yol açar ve ikincil partikül azaltma tedbirlerini gerektirir. Toplanan tozlar normal şartlarda fırına geri dönüştürülebilir.

Harman ve cam kırıntısının ön ısıtması sonucunda çok kuru bir harman ortaya çıkar; bu, harmanın ergitme fırınına yüklenmesi sırasında veya sinterleme ve ergitme gerçekleşmeden önce baca gazları harman örtüsü üzerinde yüksek hızda aktığında, ince bileşenlerin taşınmasına neden olabilir.

Doğrudan ön ısıtmanın kullanılması, artan partikül madde emisyonları ve bunun sonucunda artan bakım ve temizlik ihtiyacı dolayısıyla, maliyetlerin de artmasına sebep olur.

Doğrudan malzeme ön ısıtmada bir elektrostatik toz tutucu kullanılmasını gerektirdiğinde, elektrik enerjisi tüketilir. Bu, tasarruf edilen enerjinin bir kısmını kullanır, ancak önemli düzeyde değildir.

Doğrudan ön ısıtma, özellikle sıcak kaplamadan çıkan HCl içeren atık gazların dâhil edilmesi halinde dioksin emisyonlarına yol açma olasılığına sahiptir. Çalışmalara ve ölçümlere göre, harman ön ısıtıcılarla donatılmış fırınların baca gazında önemli seviyelerde dioksin oluşumuna dair herhangi bir kanıt yoktur.

İşletim verileri

Isı eşanjörünün altındaki taşıma sisteminin ısı kaybını mümkün olduğunca düşük tutmak için ön ısıtıcı, brülör odacığına mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir. İdeal konum, harman besleyicinin tam üzeri olacaktır.

Ekonomik nedenlerden dolayı, mevcut atık gazın sıcaklığı en az 400 - 450 °C olmalıdır. Ayrıca baca gazlarının en az 200 - 250 °C soğutulması gerekir. Malzemenin topaklanması önlemek için, mevcut harman ön ısıtma sistemlerinin çoğunda baca gazlarının maksimum giriş sıcaklığı 600 °C'yi geçmez. Ancak daha yüksek baca gazı sıcaklıkları için yeni yöntemler geliştirilmektedir (bkz. 6.2).

Uygulanabilirlik

Cam kırığı/harman ön ısıtma sistemleri teorik olarak harmanında %50'den fazla cam kırıntısı bulunan mevcut herhangi bir cam ergitme fırınına kurulabilir; diğer yandan, belirli koşullar altında ve sınırlı bir süre için bir tesis, %30 gibi düşük bir kırıntı yüzdesi ile çalışmalarını sürdürmektedir. Yalnızca harmanın ön ısıtmasında sorunlar yaşanmıştır ve kanıtlanmış teknoloji olarak kabul edilmemektedir. Harman ve kırıntı karışımının ön ısıtması, yalnızca kırıntıların ön ısıtmasından daha karmaşıktır. Bu sınırlamalar nedeniyle, harman ve kırıntı ön ısıtma uygulaması neredeyse sadece cam ambalaj sektöründe yapılmaktadır.

Ekonomi

Harman/kırıntı ön ısıtıcılarının ekonomikliği büyük ölçüde fırının ve ön ısıtıcının kapasitesine bağlıdır. Maliyetlerin ve maliyet tasarrufunun bir göstergesi olarak, dolaylı ön ısıtıcı uygulaması için cam ambalaj sektöründe iki farklı örnek için tahminler yapılmıştır. İlgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 350 ton/gün kapasiteli yandan ateşlemeli bir rejeneratif fırın için; ön ısıtıcının kullanımıyla ilişkili ek yatırım maliyeti, harman yükleme makinesindeki bazı uyarlamalar dâhil olmak üzere yaklaşık 2,5 milyon Euro'dur. Yıllık işletme maliyeti tasarrufları, bir GJ brüt yanma değeri için yakıt fiyatının 9,4 Euro olduğu varsayımı ile, yıllık yaklaşık 820000 Euro'dur. Fırının çalışma süresi boyunca ortalama maliyet tasarrufunun, güncel enerji fiyatları temel alarak hesaplandığında, bir ton erimiş cam başına 3 Euro olduğu tahmin edilmektedir.
- 450 ton/gün kapasiteli bir fırına harman/kırıntı ön ısıtmasının uygulanması, çekme kapasitesinin 450'den 500 ton/gün'e çıkarılmasına ve enerji tasarrufu sağlanmasına olanak tanır. Yatırım maliyetleri 3,4 milyon Euro'dur ve maliyet tasarrufları (500 ton/gün kapasite baz alınarak) yılda 1,1 milyon Euro'dur. Bu durumda, geri ödeme süresi üç yıldır. Kısmen fırının yapısını genişletmeye gerek kalmaksızın artan ergitme kapasitesi sayesinde, toplam maliyet tasarrufu ton cam başına 5 – 6 Euro'ya eşit olur.
- Çekme kapasitesindeki herhangi bir artıştan faydalanabilmesi için, fırının aşağı akış yönündeki ekipman ve altyapıya yatırım yapılması gerekecektir. Özellikle artan makine kapasitesiyle ilgili maliyetler önemli seviyede olabilir.

Bu metnin yazıldığı tarihte (2010), nispeten yüksek yatırım maliyetleri ve bazı durumlarda alan sınırlamaları gibi nedenlerle, teknoloji kapsamlı bir şekilde uygulanmamaktadır. Bununla birlikte, durum bölgeden bölgeye değişebilir ve enerji fiyatları ve diğer faktörler (örneğin emisyon limitleri) değiştikçe sürekli olarak gözden geçirilmektedir.

Kristal cam üreten bir cam ambalaj fırınına doğrudan harman ve kırıntı ön ısıtma uygulaması için örnek bir kurulum, Tablo 4.45'te sunulmaktadır.

Uygulamanın itici gücü

Uygulamanın asıl itici gücü, enerji tüketimini ve dolayısıyla CO₂ emisyonlarını azaltmak olacaktır. Fırının ergitme kapasitesindeki artış (%10 veya daha fazla) da bir itici güç olabilir.

Tablo 4.45: Cam ambalaj fırınında doğrudan harman ve kırıntı ön ısıtıcısı uygulamasında örnek kurulum

İşletim koşulları		
Fırın tipi	Yandan ateşlemeli, rejeneratif	
Yakıt	Doğalgaz	
Fırın kapasitesi	350 ton/gün	
Fiili çekme oranı	275 ton/gün	
Son büyük onarım	2005 Yılı	
Elektrikli destekleme	Evet	
Cam türü	Kristal	
Kırıntı	%60	
Özgül enerji tüketimi	3,78 GJ/t cam	
Filtre tipi	3 alanlı ESP	
Filtreden önceki sıcaklık	200 °C	
Emici	Yok	
Harmanda filtre tozu kullanımı	% 100	
Ventilatör dâhil enerji tüketimi	194 kwh/s	
Hammadde ön ısıtıcısı tipi	Fırından çıkan dışa atım gazlarıyla doğrudan temas	
Harman ön ısıtıcısından önce dışa atım gazı hacmi	17000 m ³ /s	
Dışa atım gazı sıcaklığı - giriş/çıkış	Yaklaşık 450/200 °C	
Hammadde sıcaklığı - giriş/çıkış	Yaklaşık 20/300 °C	
Geri kazanılan enerji miktarı	Yaklaşık 900 kwh/s	
	Aksesuarlar, boru hattı, vantilatör dâhil filtre sistemi ⁽¹⁾	Aksesuarlar dâhil olmak üzere hammadde ön ısıtıcı ⁽³⁾
Yatırım/değiştirme maliyetleri	1,5 milyon Euro	1,0 milyon Euro
Amortisman süresi	10 yıl	12 yıl
İşletme maliyetleri	120000 Euro	10000 Euro
Yıllık amortisman maliyetleri	199500 Euro	113333 Euro
Toplam yıllık maliyetler	319500 Euro	123333 Euro
Bir ton cam için tahmini maliyetler	3,18 Euro/ton cam	1,23 Euro/ton cam
Emisyon seviyeleri ⁽²⁾		
	(mg/Nm ³ , %8 O ₂ 'de kuru gaz)	kg/t cam
Partikül madde	23,8	0,037
NO _x	909	1,42
SO _x	386	0,60
HCl	4,8	0,0075
HF	3,0	0,0047
Metaller		
Sınıf I (Hg, Tl)	0,003	0,005x10 ⁻³
Sınıf II (Pb, Co, Ni, Se)	0,76	1,2x10 ⁻³
Sınıf III (Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn)	1,01	1,6x10 ⁻³
⁽¹⁾ Maliyet verileri, hava kirliliği kontrol sisteminin kurulduğu yıl içindir ve cari maliyetleri yansıtmayabilir.		
⁽²⁾ Emisyon verileri, yarım saatlik ortalama değerlerdir.		
Kaynak: [75, Almanya-HVG Cam Sanayii raporu 2007]		

Örnek tesisler

Harman ve kırıntı ön ısıtmanın tüm uygulamaları, cam ambalaj sektöründedir:

- doğrudan ön ısıtma:
 - Ardagh Glass, Nienburg, Almanya (uç fırın)
 - Ardagh Glass, Neuenhagen, Almanya
 - Wiegand Glas, Steinbach am Wald, Almanya
 - Leone Industries, Bridgeton, New Jersey, ABD (oksi-fuel fırın).
- dolaylı ön ısıtma:
 - Ardagh Glass, Dongen, Hollanda.

Referans literatür

[30, Infomil 1998] [65, GEPVP- 2007 GLS revizyonu için tavsiyeler] [94, Beerkens – HKK Değerlendirmesi 2008] [75, Germany-HVG Cam sanayii raporu 2007]

4.9 Çevresel Yönetim Sistemleri

Açıklama

Çevresel hedeflere uygunluğu gösteren resmi bir sistem.

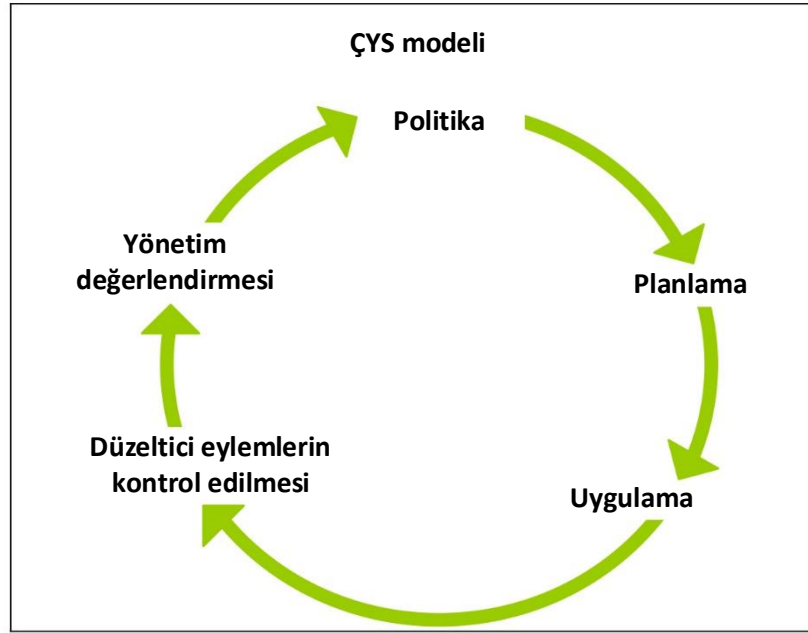
Teknik açıklama

Direktifte ‘tekniklere’ ilişkin olarak verilen tanım (‘mevcut en iyi tekniklerin’ tanımında), “hem kullanılan teknolojiyi hem de tesisin tasarımının, inşasının, bakımının, işletiminin ve hizmet dışı bırakılmasının nasıl gerçekleştirildiğini” içerir.

Bu bağlamda, bir çevre yönetim sistemi (ÇYS), tesis operatörlerinin çevresel konuları sistematik ve kanıtlanabilir bir şekilde ele almasına olanak tanıyan bir tekniktir. ÇYS’lerin en etkili ve verimli olduğu hali, tesisin genel yönetimi ve işletiminin bir parçası oldukları durumlardır.

Bir ÇYS, özellikle hem normal hem de normal dışı çalışma koşullarında açık ve net işletme prosedürlerinin uygulanması ve ilgili sorumlulukların belirlenmesiyle operatörün dikkatini tesisin çevresel performansına odaklar.

Etkili tüm ÇYS’ler, sürekli iyileştirme kavramını içerir; yani çevre yönetimi, nihayetinde sona eren bir proje değil, devam eden bir süreçtir. Çeşitli süreç tasarımları vardır, ancak ÇYS’lerin çoğu planla-uygula-kontrol et-eyleme geç döngüsüne (şirket yönetimine ilişkin diğer konularda da yaygın olarak kullanılan) dayanmaktadır. Döngü, bir döngünün tamamlanmasıyla bir sonrakinin başladığı yinelemeli ve dinamik bir modeldir (bkz. Şekil 4.9).



Şekil 4.9: Bir ÇYS modelinde sürekli iyileştirme

ÇYS, standartlaştırılmış veya standartlaştırılmamış (“özelştirilmiş”) bir sistem olabilir. EN ISO 14001:2004 gibi uluslararası alanda kabul gören standartlaştırılmış bir sistemin uygulamaya koyulması ve buna bağlı kalınması, özellikle düzgün yürütülen harici bir doğrulamaya tabi tutulduğunda ÇYS’nin güvenilirliğini artırabilir. EMAS, çevre bildirisi ile kamuyla etkileşimi ve mevcut çevresel mevzuata uyumu temin eden mekanizması nedeniyle tesise ilave bir güven duyulmasını sağlar. Ancak, standartlaştırılmamış sistemler de prensip olarak, doğru bir şekilde tasarlanmış ve uygulamaya koyulmuş olmaları şartıyla eşit derecede etkili olabilirler.

Hem standartlaştırılmış sistemler (EN ISO 14001:2004 veya EMAS) hem de standartlaştırılmamış sistemler prensip olarak **kuruluşlar** için geçerli olsa da, Direktifte sadece **tesisler/fabrikalar** düzenlemeye tabi tutulduğundan; bu belgede, bir kuruluşun tüm faaliyetleri (örneğin ürün ve hizmetleriyle ilgili) dikkate alınmamış, daha dar bir yaklaşım benimsenmiştir.

Bir ÇYS aşağıdaki özellikleri içerebilir:

1. üst yönetim de dâhil olmak üzere, yönetimin bağlılığı;
2. tesisin sürekli iyileştirilmesini içeren bir çevre politikasının yönetim tarafından tanımlanması;
3. finansal planlama ve yatırım ile bağlantılı olarak gerekli prosedürlerin, amaçların ve hedeflerin planlanması ve oluşturulması;
4. prosedürlerin, aşağıdakilerin uygulanmasına özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) yapı ve sorumluluk
 - (b) eğitim, farkındalık ve yetkinlik
 - (c) iletişim
 - (d) çalışan katılımı
 - (e) belgeleme
 - (f) verimli proses kontrolü
 - (g) bakım programları
 - (h) acil duruma hazırlık ve müdahale
 - (i) çevre mevzuatına uyumun gözetilmesi;

5. performansın kontrolü ve düzeltici eylemlerin, aşağıdakilere özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) izleme ve ölçme (ayrıca bkz. İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belge) [122, AK 2003].
 - (b) düzeltici ve önleyici eylemler
 - (c) kayıtların korunması
 - (d) - ÇYS'nin planlanan düzenlemelerle uyumlu olup olmadığını belirlemek ve doğru şekilde uygulandığından ve sürdürüldüğünden emin olmak için, bağımsız (uygulanabilir olduğunda) iç ve dış denetimler gerçekleştirilmesi;
6. ÇYS'nin ve sürekli uygunluğunun, yeterliliğinin ve etkililiğinin üst yönetim tarafından gözden geçirilmesi;
7. düzenli olarak çevre bildirisinin hazırlanması;
8. sertifikalandırma kurumu veya harici bir ÇYS doğrulayıcısının onayı;
9. daha temiz teknolojilerin gelişiminin takip edilmesi;
10. yeni bir tesisin tasarlanma aşamasında ve işletme ömrü boyunca, tesisin nihai olarak hizmetten çıkarılmasında ortaya çıkacak çevresel etkilerin dikkate alınması;
11. düzenli olarak sektörel kıyaslama çalışmalarının uygulanması.

Elde edilen çevresel faydalar

Bir ÇYS, tesisin çevresel performansının sürekli iyileştirilmesini teşvik eder ve destekler. Tesisin genel çevresel performansı zaten iyiye, bir ÇYS, operatörün yüksek performans düzeyini korumasına yardımcı olur.

Çevresel performans ve işletme verileri

Önemli seviyelerdeki tüm tüketimler (enerji dahil) ve emisyonlar, operatör tarafından finansal planlama ve yatırım döngüleriyle bağlantılı olarak kısa, orta ve uzun vadede olmak üzere, koordineli bir şekilde yönetilir. Bu, örneğin kısa vadeli boru sonu çözümlerini emisyonlara uyarlamanın, operatörü uzun vadede daha yüksek enerji tüketimine mecbur edebileceği ve genel anlamda çevre açısından potansiyel olarak daha faydalı çözümlere yatırım yapılmasının ertelenebileceği anlamına gelir. Burada, ortamlar arası hususların dikkate alınması gerekir ve bu hususlara ve fayda-maliyet konularına ilişkin yönergeler, Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler Referans Belgesinde [156, AK 2006] ve Enerji Verimliliği konulu MET-Ref belgesinde [124, AK 2008] verilmiştir.

Ortamlar arası etkiler

Herhangi bir etki bildirilmemiştir. ÇYS bağlamında ilk çevresel etkilerin ve iyileştirme kapsamının sistematik analizi, tüm çevresel ortamlara ilişkin en iyi çözümlerin değerlendirilmesi için temel oluşturur.

Uygulanabilirlik ile ilgili teknik hususlar

Yukarıda açıklanan bileşenler genel olarak bu belge kapsamındaki tüm tesislere uygulanabilir. ÇYS'nin kapsamı (örn. detay düzeyi) ve özelliği (standardize edilmiş veya edilmemiş türde olması) tesisin özellikleri, ölçeği ve karmaşıklığı ve muhtemel çevresel etkileri ile ilişkilendirilebilir.

Cam sanayiinde faaliyet gösteren tesislerde ISO 14001 kurallarına uygun bir ÇYS uygulanmasının, aşağıdakiler için şirket yönergelerini belirlemede iyi bir araç olduğu görülmüştür:

- tüm çalışanlara işlerinde izleyecekleri yolu gösterme;
- her işlevin görev ve sorumluluklarının açıkça tanımlandığı bir organizasyon oluşturma;
- herkesin uygun şekilde hareket edebilmesi için üretim süreçlerini tanımlama;
- arıza ve anormallikleri tespit etmek ve bunları güvenilir bir şekilde düzeltmek için bir kontrol sistemi benimseme ve kesin hedefler belirleyip gerçekleştirerek, fabrika performansını iyileştirmeye yönelik bir sistem uygulama.

Ekonomi

İyi bir ÇYS'nin uygulamaya koyulması ve sürdürülmesine ilişkin masrafların ve ekonomik getirilerin tam olarak belirlenmesi zordur. ÇYS uygulamanın sonucunda ekonomik faydalar da elde edilir ve bunlar sektörden sektöre büyük ölçüde değişiklik gösterir.

Sistemin doğrulamasına ilişkin harici masraflar, Uluslararası Akreditasyon Forumu tarafından yayımlanan kılavuz yardımıyla hesaplanabilir [182, IAF 2010].

Uygulamanın itici güçleri

Bir ÇYS'nin uygulanması için itici güçler şunları içerir:

- çevre performansının iyileştirilmesi
- müşterilerin, düzenleyici kurumların, bankaların, sigorta şirketlerinin veya diğer paydaşların (örneğin tesisin yakınında yaşayan veya çalışan kişiler) çevresel gereksinimlerini karşılamak için kullanılabilecek, şirketin çevresel konularına ilişkin daha iyi bir anlayış;
- karar verme süreçleri için daha iyi bir dayanak;
- personelin motivasyonunun artması (örneğin yöneticiler çevresel etkilerin kontrol edildiğine dair olarak güven duyabilir ve çalışanlar çevreye duyarlı bir şirket için çalıştıklarını hissedebilirler);
- işletim masraflarının azaltılması ve ürün kalitesinin artırılmasında ilave fırsatlar
- şirket imajının iyileştirilmesi
- sorumluluk, sigorta ve uygunsuzluk maliyetlerinin azaltılması.

Örnek tesisler

ÇYS'ler, AB genelinde çeşitli tesislerde uygulanmaktadır.

Örnek olarak, AGC Flat Glass Europe, Pilkington/NSG ve Saint-Gobain'e ait tüm flot cam tesisleri ISO 14001 sertifikasına sahiptir veya sertifikalandırılma sürecindedir. Bu şirketler, dünya çapında faaliyetleri olan büyük uluslararası grupların birer parçasıdır ve bu nedenle, Avrupa'nın EMAS'ı yerine özellikle uluslararası bir standart olan ISO 14001'i seçmişlerdir.

Cam ambalaj, kesintisiz cam elyaf, maden pamuğu, cam kırıntısı vb. üreten Avrupa'daki diğer tesisler, ISO 14001 sertifikasına sahiptir veya EMAS kapsamında kayıtlıdır (örn. Rockwool Denmark, OCV, Saint-Gobain ISOVER, Saint-Gobain Mondego, vb).

Referans literatür

1221/2009 Sayılı EMAS Yönetmeliği (AK) [181, Reg.1221/2009].

Çevre Genel Müdürlüğü EMAS web sitesi [180, Çevre Genel Müdürlüğü 2010].

EN ISO 14001: 2004 [179, ISO 2004].

5. CAM İMALATI İÇİN MET SONUÇLARI

KAPSAM

Bu MET sonuçları, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I'inde belirtilen endüstriyel faaliyetlerle ilgilidir, yani:

- 3.3. Günlük 20 ton üzeri ergitme kapasitesine sahip, cam elyafı da dâhil olmak üzere cam üretimi;
- 3.4. Günlük 20 ton üzeri ergitme kapasitesine sahip, mineral elyaf üretimi de dâhil olmak üzere mineral madde ergitme.

Bu MET sonuçları aşağıdaki faaliyetleri ele almamaktadır:

- Büyük Hacimli İnorganik Kimyasallar-Katılar ve Diğer Sanayi (LVIC-S) referans belgesi kapsamındaki su camı üretimi
- Çok kristalli yün üretimi
- Organik Solventler Kullanılarak Yapılan Yüzey İşlemleri (STS) referans belgesi kapsamındaki ayna üretimi

Bu MET sonuçlarının kapsamına giren faaliyetlerle ilgili olabilecek diğer referans belgeler ise şunlardır:

Referans belgeler	Faaliyet
Depolamadan Kaynaklanan Emisyonlar (EFS)	Hammadde depolama, ambalaj ve sevk
Enerji Verimliliği (ENE)	Genel enerji verimliliği
Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler (ECM)	Tekniklerin ekonomisi ve ortamlar arası etkileri
Genel İzleme İlkeleri (MON)	Emisyon ve tüketim izleme

Bu MET sonuçlarında listelenen ve açıklanan teknikler ne normatif, ne de kapsayıcı niteliktedir. Asgari olarak eşdeğer bir çevre koruma düzeyi sağlayan diğer teknikler de kullanılabilir.

TANIMLAR

Bu MET sonuçları kapsamında aşağıdaki tanımlar geçerlidir:

Kullanılan terim	Tanım
Yeni tesis	Tesise ait saha üzerine, bu MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından kurulan bir tesis veya tesisin mevcut temelleri üzerinde bulunan ve yine bu MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından tamamen değiştirilen bir kurulum.
Mevcut tesis	Yeni olmayan bir tesis
Yeni fırın	Tesise ait saha üzerine, bu MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından kurulan veya yine bu MET sonuçlarının yayınlanmasının ardından komple yenilenen bir fırın.
Normal fırın yenileme	Fırın çalışma dönemleri arasında yapılan, fırın gereksinimlerinde veya teknolojisinde önemli bir değişiklik yapılmadan, fırın çerçevesinin büyük ölçüde değiştirilmediği ve fırın boyutlarının esasen aynı bırakıldığı yenileme. Fırının refrakterinin ve uygun olduğu durumlarda rejeneratörlerin, malzemenin tamamen veya kısmen değiştirilmesi ile onarılmasıdır.
Komple fırın yenileme	Fırın gereksinimlerinde veya teknolojisinde büyük değişiklikler ile, fırının ve ilgili ekipmanlarının büyük çaplı ayarlama veya değiştirme işlemlerinin yapıldığı yenileme.

Genel Hususlar

Hava emisyonları için ortalama alma süreleri ve referans koşullar

Bu MET sonuçlarında verilen hava emisyonları için mevcut en iyi tekniklerle ilişkili emisyon seviyeleri (MET-İES), aksi belirtilmedikçe Tablo 5.1'de gösterilen referans koşullar altında geçerlidir. Atık gazlardaki tüm konsantrasyon değerleri standart koşullara (kuru gaz, 273,15 K sıcaklık, 101,3 kPa basınç) atıfta bulunur.

Sürekli olmayan ölçümler için	MET-İES'ler, her biri en az 30 dakikalık üç spot numunenin ortalama değerini ifade eder; rejeneratif fırınlar için ölçüm periyodu, rejeneratör odalarının en az iki ateşleme çevrimini kapsamlıdır
Sürekli ölçümler için	MET-İES'ler günlük ortalama değerleri ifade eder

Tablo 5.1: Hava emisyonlarıyla ilgili MET-İES'ler için referans koşullar

	Faaliyetler	Birim/ünite	Referans koşullar
ErgitErgitme faaliyetleri	Sürekli ergiticilerde geleneksel ergitergitme fırını	mg/Nm ³	hacmen %8 oksijen
	Sürekli ergiticilerde geleneksel ergitergitme fırını	mg/Nm ³	hacmen %13 oksijen
	Oksi-fuel fırınlar	kg/ton erimiş cam	Referans oksijen konsantrasyonuna mg/Nm ³ olarak ölçülen emisyon seviyeleri uygulanamaz
	Elektrikli fırınlar	mg/Nm ³ veya kg/ton erimiş cam	Referans oksijen konsantrasyonuna mg/Nm ³ olarak ölçülen emisyon seviyeleri uygulanamaz
	Frit ergitergitme fırınları	mg/Nm ³ veya kg/ton erimiş frit	Derişimler hacmen %15 oksijen içindir. Hava-gaz ateşleme kullanıldığında, emisyon konsantrasyonu (mg/Nm ³) olarak ifade edilen MET-İES'ler geçerlidir. Yalnızca oksijen-yakıt ateşlemesi uygulandığında, özgül kütle emisyonları (kg/ton erimiş frit) olarak ifade edilen MET-İES'ler geçerlidir. Oksijenle zenginleştirilmiş hava-yakıt ateşleme uygulandığında, emisyon konsantrasyonu (mg/Nm ³) veya özgül kütle emisyonları (kg/ton erimiş frit) olarak ifade edilen MET-İES'ler geçerlidir.
	Her türlü fırın	kg/ton erimiş cam	Özgül kütle emisyonları, bir ton erimiş cam içindir
İlave prosesler de dâhil olmak üzere, ergitergitme harici faaliyetler	Tüm prosesler	mg/Nm ³	Oksijen için düzeltme yok
	Tüm prosesler	kg/ton cam	Özgül kütle emisyonları, bir ton üretilmiş cam içindir

Referans oksijen konsantrasyonuna dönüştürme

Referans oksijen seviyesinde (bkz. Tablo 5.1) emisyon konsantrasyonu hesaplama formülü aşağıda gösterilmiştir.

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

Burada:

E_R (mg/Nm³): referans oksijen seviyesi O_R 'ye göre düzeltilmiş emisyon konsantrasyonu
 O_R (hacmen %): referans oksijen seviyesi
 E_M (mg/Nm³): ölçülen oksijen seviyesi O_M 'ye göre emisyon konsantrasyonu
 O_M (hacmen %): ölçülen oksijen seviyesi.

Konsantrasyonlardan özgül kütle emisyonlarına dönüştürme

5.2 ila 5.9 sayılı kısımlarda özgül kütle emisyonu (kg/ton ergitilmiş cam) olarak verilen MET-İES'ler, oksit yakıtlı fırınlar ve sınırlı sayıdaki durumda, kg/ton ergitilmiş cam cinsinden verilen MET-İES'lerin rapor edilen belirli verilerden türetildiği elektrikli ısıtma hariç olmak üzere, aşağıda verilen hesaplamayı temel alır.

Konsantrasyonlardan özgül kütle emisyonlarına dönüşüm için kullanılan hesaplama prosedürü aşağıda gösterilmiştir.

Özgül kütle emisyonu (kg/ton ergitilmiş cam) = çevirim katsayısı x emisyon konsantrasyonu (mg/Nm³)

burada: çevirim katsayısı = $(Q/P) \times 10^{-6}$

ve Q = Nm³/s cinsinden atık gaz hacmi
 P = ton erimiş cam/saat cinsinden çekme oranı.

Atık gaz hacmi (Q); özgül enerji tüketimi, yakıt türü ve oksidan (üretim sürecine bağlı olarak hava ve oksijenle zenginleştirilmiş havaya ve saflıktaki oksijen) bağlıdır. Enerji tüketimi, (ağırlıklı olarak) fırının türü, camın türü ve kırıntı yüzdesini içeren karmaşık bir fonksiyondur.

Bununla birlikte, konsantrasyon ve özgül kütle akışı arasındaki ilişki bir dizi faktörden etkilenebilir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- fırın tipi (hava ön ısıtma sıcaklığı, ergitme tekniği)
- üretilen cam türü (ergitme için enerji ihtiyacı)
- enerji karışımı (fosil yakıt/elektrikle destekleme)
- fosil yakıt türü (petrol, gaz)
- oksitleyici türü (oksijen, hava, oksijenle zenginleştirilmiş hava)
- kırıntı yüzdesi
- harman bileşimi
- fırının yaşı
- fırın boyutu.

Tablo 5.2'de verilen çevirim katsayıları, MET-İES'leri konsantrasyonlardan özgül kütle emisyonlarına dönüştürmek için kullanılmaktadır.

Çevirim katsayıları, enerji verimli fırınlar temel alınarak belirlenmiştir ve yalnızca tamamen hava/yakıtla çalışan fırınlara ilişkindir.

Tablo 5.2: Enerji verimli yakıt-hava ile çalışan fırınlar temel alınarak belirlenen, mg/Nm³'ü kg/ton ergitilmiş cam'a dönüştürmek için kullanılan göstergesel faktörler

Sektörler		mg/Nm ³ 'ü kg/ton ergitilen cam'a dönüştürmek için kullanılan göstergesel faktörler
Düz cam		2,5 x 10 ⁻³
Cam ambalaj	Genel durum	1,5 x 10 ⁻³
	Özel durumlar ⁽¹⁾	Durum bazında çalışma (genellikle 3,0 x 10 ⁻³)
Kesintisiz cam elyaf		4,5 x 10 ⁻³
Cam ev eşyaları	Soda kireç	2,5 x 10 ⁻³
	Özel durumlar ⁽²⁾	Durum bazında çalışma (2,5 ve > 10 x 10 ⁻³ arasında; genellikle 3,0 x 10 ⁻³)
Maden pamuğu	Cam yünü	2 x 10 ⁻³
	Taş yünü kupolu	2,5 x 10 ⁻³
Özel cam	TV camı (paneller)	3 x 10 ⁻³
	TV camı (tüp)	2,5 x 10 ⁻³
	Borosilikat (tüp)	4 x 10 ⁻³
	Cam seramikleri	6,5 x 10 ⁻³
	Aydınlatma camı (soda-kireç)	2,5 x 10 ⁻³
Fritler		Durum bazında çalışma (5 - 7,5 x 10 ⁻³ arası)
⁽¹⁾ Özel durumlar daha az elverişli durumlara karşılık gelir (yani genellikle 100 ton/gün'ün altında üretim ve %30'un altında kırıntı oranına sahip, özel küçük fırınlar). Bu kategori cam ambalaj üretiminin sadece % 1 veya 2'sini temsil etmektedir.		
⁽²⁾ Daha az elverişli durumlara ve/veya soda kireç harici camlara karşılık gelen özel durumlar borosilikatlar, cam seramik, kristal cam ve daha seyrek olarak kurşunlu camdır.		

Bazı hava kirleticilerin tanımları

Bu MET sonuçlarının amaçları doğrultusunda ve 5.2 ila 5.9 kısımlarında rapor edilen MET-İES'ler için, aşağıdaki tanımlar geçerlidir:

NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	NO ₂ olarak ifade edilen azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO ₂) toplamı
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	SO ₂ olarak ifade edilen kükürt dioksit (SO ₂) ve kükürt trioksit (SO ₃) toplamı
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	HCl olarak ifade edilen gaz halindeki tüm klorürler
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	HF olarak ifade edilen gaz halindeki tüm florürler

Atık su deşarjları için ortalama periyotları

Aksi belirtilmedikçe, bu MET sonuçlarında verilen atık su emisyonları için mevcut en iyi tekniklerle ilişkili emisyon seviyeleri (MET-İES'ler), iki saat veya 24 saat boyunca alınan kompozit numunenin ortalama değerini ifade eder.

5.1 Cam imalatı için genel MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm tesislere uygulanabilir.

5.2 ila 5.9 kısımlarında yer alan prosese özel MET, bu bölümde bahsedilen genel MET'e ek olarak geçerlidir.

5.1.1 Çevresel Yönetim Sistemleri

1. MET, aşağıdaki özelliklerin tümünü içeren bir çevre yönetim sistemini (ÇYS) uygulamaya koymak ve buna bağlı kalmaktır:

- i. üst yönetim de dâhil olmak üzere, yönetimin bağlılığı;
- ii. tesisin sürekli iyileştirilmesini içeren bir çevre politikasının yönetim tarafından tanımlanması;
- iii. finansal planlama ve yatırım ile bağlantılı olarak gerekli prosedürlerin, amaçların ve hedeflerin planlanması ve oluşturulması;
- iv. prosedürlerin, aşağıdakilerin uygulanmasına özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) yapı ve sorumluluk
 - (b) eğitim, farkındalık ve yetkinlik
 - (c) iletişim
 - (d) çalışan katılımı
 - (e) belgeleme
 - (f) verimli proses kontrolü
 - (g) bakım programları
 - (h) acil duruma hazırlık ve müdahale
 - (i) çevre mevzuatına uyumun gözetilmesi hususlarına dikkat edilmesi.
- v. performansın kontrolü ve düzeltici eylemlerin, aşağıdakilere özellikle dikkat edilerek uygulanması:
 - (a) izleme ve ölçme (ayrıca bkz. İzlemenin Genel İlkelerine İlişkin Referans Belge)
 - (b) düzeltici ve önleyici eylemler
 - (c) kayıtların korunması
 - (d) - ÇYS'nin planlanan düzenlemelerle uyumlu olup olmadığını belirlemek ve doğru şekilde uygulandığından ve sürdürüldüğünden emin olmak için, bağımsız (uygulanabilir olduğunda) iç ve dış denetimler gerçekleştirilmesi;
- vi. ÇYS'nin ve sürekli uygunluğunun, yeterliliğinin ve etkililiğinin üst yönetim tarafından gözden geçirilmesi;
- vii. daha temiz teknolojilerin gelişiminin takip edilmesi gerekliliği;
- viii. yeni bir tesisin tasarlanma aşamasında ve işletme ömrü boyunca, tesisin nihai olarak hizmetten çıkarılmasında ortaya çıkacak çevresel etkilerin dikkate alınması;
- ix. düzenli olarak sektörel kıyaslama çalışmalarının uygulanması.

Uygulanabilirlik

ÇYS'nin kapsamı (örn. detay düzeyi) ve özelliği (standardize edilmiş veya edilmemiş türde olması) genellikle tesisin özellikleri, ölçeği ve karmaşıklığı ve muhtemel çevresel etkileri ile ilişkilendirilebilir.

5.1.2 Enerji verimliliği

2. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak özgül enerji tüketimini azaltmaktır:

Teknik	Uygulanabilirlik
i. İşletim parametrelerinin kontrolü yoluyla süreç optimizasyonu	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. ErgitErgitme fırınının düzenli bakımı	
iii. Fırın tasarımının optimizasyonu ve ergitergitme tekniğinin seçimi	Yeni tesislerde uygulanabilir. Uygulama, mevcut tesislerde fırının tamamen yeniden inşasını gerektirir.
iv. Yanma kontrol tekniklerinin uygulanması	Yakıt/hava ve oksijen-yakıtla çalışan fırınlara uygulanabilir
v. Ekonomik ve teknik olarak uygun olduğu ve yapılabildiği ölçüde, kırıntıların artan kullanımı	Kesintisiz cam elyaf, yüksek sıcaklık yalıtım yünü ve frit sektörleri için geçerli değildir
vi. Teknik ve ekonomik olarak uygun olduğunda enerji geri kazanımı için atık ısı kazanının kullanılması	Yakıt/hava ve oksijen-yakıtla çalışan fırınlara uygulanabilir Tekniğin uygulanabilirliği ve ekonomik fizibilitesini, elde edilmesi mümkün olan genel verimlilik (üretilen buharın etkili kullanımı dahil) belirler.
vii. Teknik ve ekonomik olarak uygun olduğunda parti ve kırıntı ön ısıtmanın kullanılması	Yakıt/hava ve oksijen-yakıtla çalışan fırınlara uygulanabilir Uygulanabilirlik normalde %50'den fazla kırıntı içeren harman bileşimleriyle sınırlıdır.

5.1.3 Malzeme depolama, ambalaj ve sevk

3. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak katı malzemelerin depolanmasından ve ambalaj ve sevk işlemlerinden kaynaklanan difüz toz emisyonlarını önlemek veya önlemenin mümkün olmadığı durumlarda azaltmaktır:

- I. Hammaddelerin depolanması
 - i. Dökme toz malzemelerinin, toz azaltım sistemi (ör. torba filtre) ile donatılmış kapalı silolarda saklanması
 - ii. İnce malzemelerin çevrili konteynerlerde veya sızdırmaz torbalarda saklanması
 - iii. Tozlu kaba malzeme yığınlarının kapalı olarak saklanması
 - iv. Yol temizleme araçlarının ve su söndürme tekniklerinin kullanımı

II. Hammaddelerin ambalaj ve sevki

Teknik	Uygulanabilirlik
i. Yer üstünden taşınan malzemeler için, toz emisyonlarını önlemek amacıyla çevrili konveyör kullanımı	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Pnömatik taşımanın kullanıldığı yerlerde, salınımdan önce taşıma havasını temizlemek amacıyla filtre ile donatılmış sızdırmaz bir sistemin uygulanması	
iii. Harmanın nemlendirilmesi	Bu tekniğin kullanımı, fırın enerji verimliliği üzerindeki olumsuz sonuçlar nedeniyle sınırlıdır. Özellikle borosilikat cam üretiminde bazı harman reçeteleri için kısıtlamalar geçerli olabilir.
iv. Fırın içinde hafif negatif basınç uygulanması	Fırın enerji verimliliği üzerindeki zararlı etkisi nedeniyle, yalnızca olağan işletim dahilinde (yani frit üretimi için kullanılan ergitergitme fırınlarında) uygulanabilir.
v. Yıpranma etkisine neden olmayan hammaddelerin kullanımı (başlıca dolomit ve kireçtaşı). Bu etki, ısıya maruz kalan minerallerin 'çatırdamasıyla' meydana gelir, toz emisyonu artışına sebep olabilir.	Hammaddelerin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir
vi. Toz oluşumunun muhtemel olduğu proseslerde bir filtre sistemine açılan bir ekstraksiyonun kullanılması (ör. torba açma, frit harman karıştırma, kumaş filtreden toz bertarafı, soğuk başlıklı ergiticiler)	Teknikler genel olarak uygulanabilir
vii. Kapalı vidalı besleyicilerin kullanımı	
viii. Besleme ceplerinin etrafının kapatılması	Genel olarak uygulanabilir. Ekipmana zarar vermemek için soğutma gerekli olabilir

4. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak uçucu hammaddelerin depolanmasından ve ambalaj ve sevk işlemlerinden kaynaklanan difüz gaz halindeki toz emisyonlarını önlemek veya önlemenin mümkün olmadığı durumlarda azaltmaktır:

- Güneş enerjisi ile ısınmadan kaynaklı sıcaklık değişikliklerine maruz kalan yığın depolama için güneş ışığı emiciliği düşük tank boyası kullanımı
- Uçucu hammaddelerin depolanmasında sıcaklık kontrolü.
- Uçucu hammaddelerin depolanmasında tank yalıtımı.
- Envanter yönetimi
- Yüksek miktarlarda uçucu petrol ürününün depolanmasında yüzer tavanlı tankların kullanılması.
- Uçucu sıvıların aktarımında buhar geri dönüş aktarım sistemlerinin kullanılması (örneğin, tankerden depolama tankına).
- Sıvı hammaddelerin depolanmasında diyafram tavanlı tankların kullanılması.
- Basınç dalgalanmalarına dayanacak şekilde tasarlanmış tanklarda basınç/vakum valflerinin kullanılması.
- Tehlikeli malzemelerin depolanmasında bir tahliye işleminin (örn. adsorpsiyon, soğurma, yoğunlaşma) uygulanması.
- Köpüklenme eğilimi gösteren sıvıların depolanmasında yüzey altı dolgu uygulaması.

5.1.4 Genel birincil teknikler

5. MET, işletim parametrelerinin sürekli izlenmesi ve ergitergitme fırınının programlı bakımının gerçekleştirilmesi yoluyla, enerji tüketimini ve hava emisyonları azaltmaktır.

Teknik	Uygulanabilirlik
Bu teknik, fırının ve bek taşlarının sızdırmazlığını sağlamak, yalıtımı maksimum düzeyde tutmak, kararlı alev koşullarını ve yakıt/hava oranını kontrol altında tutmak ve benzeri yöntemlerle fırın üzerindeki yaşlanma etkilerini en aza indirmek amacıyla, fırın tipine göre ayrı ayrı veya birlikte uygulanması mümkün olan bir dizi izleme ve bakım işleminden oluşur..	Rejeneratif, reküperatif ve oksî-fuel fırınlara uygulanabilir. Diğer fırın tiplerine uygulanabilirlik, tesis bazında değerlendirme gerektirir

6. MET, hava emisyonları azaltmak veya önlemek amacıyla, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınına giren tüm maddelerin ve hammaddelerin dikkatli bir şekilde seçilmesi ve kontrol edilmesidir.

Teknik	Uygulanabilirlik
Düşük düzeyde safsızlık (örn. metaller, klorürler, florürler) içeren hammadde ve yabancı kırıntı kullanımı	Tesiste üretilen camın türüne ve hammadde ve yakıt kullanılabilirliğine ilişkin kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir.
Alternatif hammadde kullanımı (örn. daha az uçucu hammaddeler)	
Düşük metal safsızlıklarına sahip yakıtların kullanımı	

7. MET, düzenli olarak emisyonların ve/veya aşağıdakiler de dâhil olmak üzere diğer ilgili proses parametrelerinin izlenmesidir:

Teknik	Uygulanabilirlik
i. Prosesin kararlılığını sağlamak için sıcaklık, yakıt beslemesi ve hava akışı gibi kritik proses parametrelerinin sürekli izlenmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Kirliliği azaltmak/önlemek amacıyla proses parametrelerinin, örn. yakıt/hava oranını kontrol etmek için yanma gazlarının O ₂ içeriğinin, düzenli olarak izlenmesi	
iii. Toz, NO _x ve SO ₂ emisyonlarının sürekli ölçümleri veya ölçümler arasında arıtma sisteminin düzgün çalışmasını sağlamak için belirli parametrelerin kontrolü ile bağlantılı olarak, yılda en az iki kez olmak üzere sürekli olmayan ölçümler	
iv. Seçici katalik indirgeme (SCR) veya seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR) tekniklerinin uygulandığı durumlarda, NH ₃ emisyonlarının sürekli veya düzenli ölçümleri	Geleneksel hava/yakıt ateşlemeli ergitergitme fırınlarına uygulanabilir
v. Kısmi yanmanın gerçekleşebileceği veya NO _x emisyonlarını azaltmak amacıyla birincil tekniklerin veya yakıt teknikleriyle kimyasal gideriminin uygulandığı durumlarda, CO emisyonlarının düzenli veya sürekli ölçümleri	
vi. Özellikle kısmi yanmanın gerçekleşebileceği veya HCl, HF, CO ve metal içeren hammaddelerin kullanıldığı durumlarda, bu tür maddelerin emisyonlarının düzenli periyodik ölçümleri	Teknikler genel olarak uygulanabilir
vii. Atık gaz arıtma sisteminin düzgün çalıştığından ve sürekli olmayan ölçümler arasında emisyon seviyelerinin korunduğundan emin olmak için belirli parametrelerin sürekli izlenmesi. İzlenecek belirli parametreler arasında reaktif beslemesi, sıcaklık, su beslemesi, voltaj, toz giderme, fan hızı vb. yer alır.	

8. MET, emisyonları önlemek veya azaltmak amacıyla, atık gaz arıtma sistemlerini normal çalışma koşullarında optimum kapasite ve kullanılabilirlikte çalıştırmaktır.

Uygulanabilirlik

Özellikle aşağıdakiler gibi belirli çalışma koşullarına özel prosedürler tanımlanabilir:

- i. devreye alma ve devreden çıkarma işlemleri
- ii. sistemlerin düzgün çalışmasını etkileyebilecek diğer özel işlemler sırasında (örn. fırının ve/veya atık gaz işleme sisteminin düzenli ve olağandışı bakım çalışmaları ve temizlik işlemleri veya üretimde ciddi değişiklikler)
- iii. sistemin tam kapasitede kullanılmasını engelleyen yetersiz atık gaz akışı veya sıcaklığı durumu.

9. MET, NO_x emisyonlarının azaltılması amacıyla yakıtla kimyasal azaltma veya birincil teknikleri uygularken, ergitme fırınından çıkan karbon monoksit (CO) emisyonlarının sınırlandırılmasıdır.

Teknik	Uygulanabilirlik
NO _x emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil teknikler, yakma modifikasyonlarını (örneğin, hava/yakıt oranının azaltılması, kademeli yakma, düşük NO _x brülörleri, vb.) temel alır. Yakıtla kimyasal azaltma, fırında oluşan NO _x 'i azaltmak için atık gaz akışına hidrokarbon yakıtın eklenmesiyle sağlanır.	Geleneksel hava/yakıt ateşlemeli fırınlara uygulanabilir.
Bu tekniklerin uygulanmasından kaynaklanan CO emisyonu artışı, işletim parametrelerinin dikkatli bir şekilde kontrolüyle sınırlandırılabilir.	

Tablo 5.3: Ergitme fırınlarından kaynaklanan karbon monoksit emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
CO olarak ifade edilen karbon monoksit	<100 mg/Nm ³

10. MET, yüksek verimli NO_x emisyon giderimine yönelik seçici katalitik indirgeme (SCR) veya seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR) teknikleri uygularken amonyak (NH₃) emisyonlarının sınırlandırılmasıdır

Teknik	Uygulanabilirlik
Teknik, reaksiyona girmemiş amonyak emisyonlarını sınırlamak amacıyla SCR veya SNCR atık gaz arıtma sistemlerinin uygun çalışma koşullarının benimsenmesi ve sürdürülmesinden oluşur	SCR veya SNCR ile donatılmış ergitme fırınları için geçerlidir

Tablo 5.4: SCR veya SNCR tekniklerinin uygulandığı durumlarda amonyak emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES'ler ⁽¹⁾
NH ₃ olarak ifade edilen amonyak	<5 - 30 mg/Nm ³
(*) Daha yüksek seviyeler, giriş NO _x konsantrasyonlarının, indirgeme hızlarının ve katalizör eskime hızlarının daha yüksek olduğu durumlarda ilişkilidir.	

11. MET, harman reçetesinde bor bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda, ergitme fırınından çıkan bor emisyonlarını azaltmak için aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Bazı borik asit türlerinin baca gazında 200 °C'nin altında, aynı zamanda 60 °C'ye kadar inebilen sıcaklıklarda gaz halinde bileşikler olarak mevcut olabileceği dikkate alınarak, katı haldeki bor bileşiklerinin ayrışmasını arttırmak için bir filtreleme sisteminin uygun sıcaklıkta işletilmesi	Mevcut tesislerde uygulanabilirlik, mevcut filtre sisteminin konumu ve özellikleriyle ilgili teknik kısıtlamalarla sınırlı olabilir
ii. Bir filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Uygulanabilirlik, kuru alkali reaktifin yüzeyinde bor bileşiklerinin birikmesinin neden olduğu diğer gaz halindeki kirleticileri (SO _x , HCl, HF) giderme verimliliğinin azalması nedeniyle sınırlı olabilir.
iii. Yaş yıkama kullanımı	Mevcut tesislerde uygulanabilirlik, özel atık su arıtımı ihtiyacı ile sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.1, 5.10.4 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.	

İzleme

Bor emisyonlarının izlenmesi, bileşiğin hem katı hem de gaz formlarının ölçülmesine ve bu türlerin baca gazlarından etkin bir şekilde uzaklaştırılma yollarını belirlemeye imkan sağlayan, özel bir metodolojiye göre gerçekleştirilmelidir.

5.1.5 Cam imalat süreçlerinden suya deşarjlar

12. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak su tüketimini azaltmaktır:

Teknik	Uygulanabilirlik
i. Döküntü ve sızıntıların en aza indirilmesi	Teknik genel olarak uygulanabilir
ii. Tasfiye sonrası soğutma ve temizleme sularının yeniden kullanılması	Teknik genel olarak uygulanabilir. Yıkama suyunun devridaimi, yıkama sistemlerinin çoğuna uygulanabilir; ancak, yıkama ortamının periyodik olarak boşaltılması ve değiştirilmesi gerekli olabilir
iii. Teknik ve ekonomik olarak mümkün olduğu ölçüde, yarı kapalı bir su döngüsü sistemi çalıştırma	Bu tekniğin uygulanabilirliği, üretim sürecinin güvenlik yönetimi ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir. Özellikle: - güvenlik hususları nedeniyle gerekli olduğunda, açık devre soğutma kullanılabilir (örn. büyük miktarlarda camın soğutulması gereken durumlar) - Bazı özel proseslerde (örn. kesintisiz cam elyaf sektöründeki ilave faaliyetler, cam ev eşyaları ve özel cam sektörlerindeki asitle cilalama, vb.) kullanılan suyun tamamının veya bir kısmının atık su arıtma sistemine boşaltılması gerekebilir

13. MET, aşağıdaki atık su arıtma sistemlerinden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla atık su deşarjlarındaki kirletici emisyon yükünün azaltılmasıdır:

Teknik	Uygulanabilirlik
i. Tortulaştırma, eleme, halmoz alma, nötrleştirme, filtreleme, havalandırma, çöktürme, koagülasyon ve flokülasyon vb. standart kirlilik kontrol teknikleri Sıvı hammadde ve ara ürünlerin depolanmasından kaynaklanan emisyonların kontrol edilmesi için uygulanan çevreleme, tankların denetimi/test edilmesi, aşırı doldurmadan koruma vb. standart iyi uygulamalar	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Organik bileşikleri uzaklaştırmak/bozundurmamak amacıyla aktif çamur, biyofiltrasyon gibi biyolojik arıtma sistemleri	Uygulanabilirlik, üretim sürecinde organik madde kullanılan (örn. kesintisiz cam elyaf ve maden pamuğu sektörleri) sektörlerle sınırlıdır
iii. Kentsel atık su arıtma tesislerine boşaltım	Kirleticilerin daha fazla azaltılmasının gerekli olduğu tesisler için geçerlidir
iv. Atık suların harici olarak yeniden kullanımı	Uygulanabilirlik, genellikle frit sektörü ile sınırlıdır (seramik sanayiinde yeniden kullanım imkanı)

Tablo 5.5: Cam imalatından yüzey sularına atık su boşaltımına ilişkin MET-İES'ler

Parametre ⁽¹⁾	Birim/ünite	MET-İES ⁽²⁾ (kompozit numune)
pH	-	6,5-9
Toplam askıda katı madde	mg/l	<30
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)	mg/l	<5 - 130 ⁽³⁾
SO ₄ ²⁻ olarak ifade edilen sülfatlar	mg/l	<1000
F ⁻ olarak ifade edilen florürler	mg/l	<614
Toplam hidrokarbonlar	mg/l	<15 ⁽⁵⁾
Pb olarak ifade edilen kurşun	mg/l	<0,05 - 0,3 ⁽⁶⁾
Sb olarak ifade edilen antimon	mg/l	<0,5
As olarak ifade edilen arsenik	mg/l	<0,3
Ba olarak ifade edilen baryum	mg/l	<3,0
Zn olarak ifade edilen çinko	mg/l	<0,5
Cu olarak ifade edilen bakır	mg/l	<0,3
Cr olarak ifade edilen bakır	mg/l	<0,3
Cd olarak ifade edilen kadmiyum	mg/l	<0,05
Sn olarak ifade edilen kalay	mg/l	<0,5
Ni olarak ifade edilen nikel	mg/l	<0,5
NH ₄ olarak ifade edilen amonyak	mg/l	<10
B olarak ifade edilen bor	mg/l	<1 - 3
Fenol	mg/l	<1

⁽¹⁾ Tabloda verilen kirleticilerin önemi, cam sanayiinin bulunduğu sektöre ve tesiste yürütülen farklı faaliyetlere bağlıdır.
⁽²⁾ Seviyeler, iki saatlik veya 24 saatlik bir zaman periyodunda alınan bir kompozit numune içindir.
⁽³⁾ Kesintisiz cam elyaf sektörü için MET-İES <200 mg/l'dir.
⁽⁴⁾ Değer, asitle parlatmanın gerçekleştirildiği faaliyetlerden çıkan arıtılmış atık su içindir.
⁽⁵⁾ Genel olarak, toplam hidrokarbonlar mineral yağlardan oluşur.
⁽⁶⁾ Aralığın yüksek ucu, kurşun kristal cam üretimi için ilave süreçlerle ilişkilidir.

5.1.6 Cam imalat süreçlerinden kaynaklanan atıklar

14. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla bertaraf edilecek katı atık üretiminin azaltılmasıdır:

Teknik	Uygulanabilirlik
i. Kalite gereksinimlerinin olanak sağladığı ölçüde atık Harmandaki hammaddelerin geri dönüşümü	Uygulanabilirlik, nihai cam ürünün kalitesiyle ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
ii. Hammaddelerin depolanması, ambalajlanması ve sevki sırasında meydana gelen malzeme kayıplarının en aza indirilmesi	Teknik genel olarak uygulanabilir
iii. Iskarta üretiminden gelen tesis içi kırıntıların geri dönüştürülmesi	Genellikle kesintisiz cam elyaf, yüksek sıcaklık yalıtım yünü ve frit sektörleri için geçerli değildir
iv. Tozun, kalite gereksinimlerinin olanak sağladığı ölçüde harman reçetesine geri dönüşümü	Uygulanabilirlik çeşitli faktörlerle sınırlanabilir: • nihai cam ürünün kalite gereksinimleri • harman reçetesinde kullanılan kırıntı yüzdesi • olası toz taşınımı ve refrakter gereçlerin korozyonu • kükürt dengesi kısıtlamaları
v. Katı atık ve/veya çamurun (örn. su arıtımından kaynaklanan çamur), sahada veya diğer sanayilerde uygun şekilde kullanım yoluyla değerlendirilmesi	Genel olarak cam ev eşyaları (kurşun kristal kesme çamuru için) ve cam ambalaj (yağ ile karıştırılmış ince cam parçacıkları) sektörleri için geçerlidir. Öngörülemeyen, kontamine bileşim, düşük hacimler ve ekonomik uygulanabilirlik nedeniyle diğer cam imalat sektörlerinde uygulanabilirlik sınırlıdır
vi. Ömrünü tamamlamış refrakter malzemelerin diğer sanayilerde olası kullanım yoluyla değerlendirilmesi	Uygulanabilirlik, refrakter üreticileri ve potansiyel son kullanıcılar tarafından öngörülen kısıtlamalarla sınırlıdır.
vii. Çimento bağlı atık briketlerinin, kalite gereksinimlerinin olanak sağladığı ölçüde sıcak hava kupol ocaklarına geri dönüşüm için uygulanması	Atıkların çimento ile briketlenmesinin uygulanabilirliği, taş yünü sektörü ile sınırlıdır. Hava emisyonları ile katı atık akışı üretimi arasında dengeleyici bir yaklaşım uygulanmalıdır

5.1.7 Cam imalat süreçlerinden kaynaklanan gürültü

15. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak gürültü emisyonlarını azaltmaktır:

- Çevresel gürültü değerlendirmesi yapılması ve yerel çevreye uygun bir gürültü yönetim planı oluşturulması
- Gürültülü ekipmanın/işlemin ayrı bir yapı/birim içinde konumlandırılması
- Gürültü kaynağının yapay setlerle çevrilmesi
- Açık havadaki gürültülü faaliyetlerin gün içerisinde gerçekleştirilmesi
- Tesis ile korunan alan arasında gürültü engelleyici duvarların kullanılması veya yerel koşullara bağlı olarak doğal bariyerlerden (ağaçlar, çalılar) faydalanılması

5.2 Cam ambalaj imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm cam ambalaj tesislerine uygulanabilir.

5.2.1 ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları

16. MET, elektrostatik toz tutucu veya torba filtre gibi bir baca gazı temizleme sistemi ile ergitergitme fırınının atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılmasıdır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Baca gazı temizleme sistemleri, ölçüm noktasında katı haldeki tüm malzemelerin filtrelenmesine dayanan boru sonu tekniklerden oluşur.	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Filtreleme sistemlerinin (elektrostatik toz tutucu, torbalı filtre) bir tanımı 5.10.1 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.6: Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
Toz	<10 - 20	<0,015 - 0,06
⁽¹⁾ Aralığın alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için sırasıyla $1,5 \times 10^{-3}$ ve 3×10^{-3} 'lük çevrim katsayıları kullanılmıştır.		

5.2.2 ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO_x)

17. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

I. birincil teknikler, örneğin:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Daha düşük fırın verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi nedeniyle, yalnızca tesise özel koşullar altında (yani, rejeneratif fırınlar yerine reküperatif fırınların kullanılması durumunda) geçerlidir
(c) Kademeli yakma: • Hava kademelendirme • Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, geleneksel hava/yakıt fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır
(d) Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır

(e) Düşük NOx brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Teknik kısıtlamalar ve fırının esnekliğinin daha az olması nedeniyle yandan ateşlemeli, gazlı fırınlara yönelik uygulamalarda elde edilen çevresel faydalar genellikle daha düşüktür. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(f) Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
ii. Özel fırın tasarımı	Uygulanabilirlik, yüksek seviyelerde (>%70) yabancı cam kırıntısı içeren harman reçeteleri ile sınırlıdır. Uygulama, ergitme fırınının tamamen yenilenmesini gerektirir. Fırının şekli (uzun ve dar) alan kısıtlamalarına neden olabilir
iii. Elektrikli ergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz. Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz. Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir
iv. Oksi-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

II. ikincil teknikler, örneğin:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Seçici katalitik indirgeme (SCR)	Uygulamada, toz emisyonu konsantrasyonlarının 10 - 15 mg/Nm ³ 'ün altında olmasını garanti altına almak için toz azaltma sisteminin yenilenmesi ve SO _x emisyonlarının giderilmesi için kükürt giderme sistemi gerekli olabilir. Optimum çalışma sıcaklığı penceresi nedeniyle, uygulanabilirlik elektrostatik toz tutucu kullanımı ile sınırlıdır. Teknik genellikle torbalı filtre sistemi ile kullanılmaz, çünkü 180 - 200 °C aralığındaki düşük işletim sıcaklığı, atık gazların yeniden ısıtılmasını gerektirebilir. Tekniğin uygulanması, önemli miktarda alanın kullanılabilir olmasını gerektirebilir
ii. Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)	Teknik, reküperatif fırınlara uygulanabilir. Doğru sıcaklık aralığına erişmenin zor olduğu veya bu aralığın baca gazlarının reaktif ile iyi bir şekilde karışmasına izin vermediği geleneksel rejeneratif fırınlara uygulanabilirliği oldukça sınırlıdır. Ayrı rejeneratörlerle donatılmış yeni rejeneratif fırınlara uygulanabilir; bununla birlikte, bölmeler arasındaki alevlerin tersine çevrilmesi nedeniyle döngüsel bir sıcaklık değişimi meydana geldiğinden, sıcaklık aralığının korunması zordur.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.7: Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yakma modifikasyonları, özel fırın tasarımları ⁽²⁾ ⁽³⁾	500 - 800	0,75 - 1,2
	Elektrikli ergitme	<100	<0,3
	Oksi-fuel ergitme ⁽⁴⁾	Uygulanamaz	<0,5 - 0,8
	İkincil teknikler	<500	<0,75
⁽¹⁾ Genel durumlar için Tablo 5.2'de rapor edilen çevrim katsayısı ($1,5 \times 10^{-3}$) kullanılmıştır; elektrikle ergitme istisnadır (özel durumlar: 3×10^{-3}).			
⁽²⁾ Düşük değer, uygun durumlarda özel fırın tasarımlarının kullanımına ilişkindir.			
⁽³⁾ Ergitme fırınının normal veya komple yenilemesi durumunda bu değerler yeniden gözden geçirilmelidir.			
⁽⁴⁾ Ulaşılabilir seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır.			

18. Nihai ürün kalitesini sağlamak için harman reçetesinde nitratların kullanıldığı ve/veya ergitme fırınında özel oksitleyici yakma koşullarının gerekli olduğu durumlarda MET, birincil veya ikincil teknikler ile birlikte bu hammaddelerin kullanımının en aza indirilmesiyle NO_x emisyonlarını azaltmaktır.

MET-İES'ler Tablo 5.7'de verilmiştir.

Kısa çalıştırma süreleri veya <100 t/gün kapasiteli ergitme fırınları için harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlar için MET-İES Tablo 5.8'de gösterilmektedir.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Birincil teknikler: Harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi Nitrat kullanımı yüksek kaliteli ürünlerin elde edilmesinde uygulanmaktadır (örn. flakonaj, parfüm şişeleri ve kozmetik ambalajları). Alternatif etkili malzemeler sülfatlar, arsenik oksitler ve seryum oksittir. Proses modifikasyonlarının (örn. özel oksitleyici yakma koşulları) uygulanması, nitrat kullanımına bir alternatif olabilir	Harman reçetesinde nitratların ikame edilmesi, alternatif malzemelerin yüksek maliyetleri ve/veya daha ciddi çevresel etkileri ile sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.8: Cam ambalaj sektöründe; harman reçetesinde nitratlar kullanıldığında ve/veya kısa çalıştırma sürelerinin uygulandığı durumlarda veya <100 kapasiteli ergitme fırınları için, ergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonları için MET-İES

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Birincil teknikler	<1000	<3
⁽¹⁾ Özel durumlar için Tablo 5.2'de rapor edilen çevrim katsayısı (3×10^{-3}) uygulanmıştır.			

5.2.3 ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

19. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
ii. Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi genellikle nihai cam ürününün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir. Kükürt dengesinin optimize edilmesi için, SO _x emisyonlarının giderilmesi ile katı atık (filtre tozu) yönetimi arasında bir dengeleşim yaklaşımı benimsenmelidir. SO _x emisyonlarının etkin bir şekilde azaltılması, cam türüne bağlı olarak önemli ölçüde değişebilen kükürt bileşiklerinin camda tutulmasına bağlıdır
iii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.3 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.9: Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Yakıt	MET-İES ^{(1) (2)}	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽³⁾
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Doğalgaz	<200 - 500	<0,3 - 0,75
	Fuel oil ⁽⁴⁾	<500 - 1200	<0,75 - 1,8
⁽¹⁾ Özel renkli cam türleri için (örneğin indirgenmiş yeşil camlar), ulaşılması mümkün emisyon seviyelerine ilişkin hususlarda kükürt dengesinin araştırılması gerekebilir. Tabloda belirtilen değerlerin filtre tozu geri dönüşümü ve yabancı kırıntıların geri dönüşüm oranı ile birlikte elde edilmesi zor olabilir. ⁽²⁾ Daha düşük seviyeler, SO _x 'in azaltılmasının daha düşük katı atık, yani sülfat açısından zengin filtre tozu üretilmesine göre yüksek önceliğe sahip olduğu koşullarla ilişkilidir. ⁽³⁾ Genel durumlar için Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (1,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır. ⁽⁴⁾ İlişkili emisyon seviyeleri, ikincil önlemler teknikleri ile birlikte %1 kükürtlü fuel oil kullanımı içindir.			

5.2.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

20. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılmasıyla ergitergitme fırınından (muhtemelen sıcak kaplama faaliyetlerinden kaynaklanan baca gazlarıyla birlikte) salınan HCl ve HF emisyonlarının azaltılmasıdır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türünün kısıtlamaları ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.4 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.10: Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür ⁽²⁾	<10 - 20	<0,02 - 0,03
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<1 - 5	<0,001 - 0,008
⁽¹⁾ Genel durumlar için Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı ($1,5 \times 10^{-3}$) uygulanmıştır.		
⁽²⁾ Yüksek seviyeler, sıcak kaplama işlemlerinden kaynaklanan baca gazlarının da eşzamanlı olarak arıtılmasıyla ilişkilidir.		

5.2.5 ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller

21. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türüne özgü kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Tüketicinin cam kalitesi gereksinimlerine bağlı olarak camın renklendirilmesi ve renksizleştirilmesinin gerekli olduğu harman reçetesinde metal bileşiklerin kullanımının en aza indirilmesi	
iii. Bir filtreleme sistemi kullanılması (torba filtre veya elektrostatik toz tutucu)	Teknikler genel olarak uygulanabilir
iv. Bir filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.11: Cam ambalaj sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ^{(1) (2) (3)}	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽⁴⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1 ⁽⁵⁾	<0,3 - $1,5 \times 10^{-3}$
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<1,5 - $7,5 \times 10^{-3}$
⁽¹⁾ Seviyeler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.		
⁽²⁾ Düşük seviyeler, harman reçetesinde metal bileşiklerinin kasıtlı olarak kullanılmadığı durumlardaki MET-İES'lerdir.		
⁽³⁾ Üst seviyeler, metallerin camın renklendirilmesi veya renginin giderilmesi için kullanıldığı veya sıcak kaplama işlemlerinden çıkan baca gazlarının ergitergitme fırınının emisyonlarıyla birlikte arıtıldığı durumlarla ilişkilidir.		
⁽⁴⁾ Genel durumlar için Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı ($1,5 \times 10^{-3}$) uygulanmıştır.		
⁽⁵⁾ Renk giderme için daha yüksek miktarlarda selenyum gerektiren (hammaddelere bağlı olarak) yüksek kaliteli kristal cam üretiminin gerçekleştirildiği özel durumlarda, 3 mg/Nm ³ 'e kadar çıkabilen yüksek değerler rapor edilir.		

5.2.6 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

22. Sıcak kaplama işlemleri için kalay, organokalay veya titanyum bileşikleri kullanıldığında MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak emisyonları azaltmaktır:

Teknik	Uygulanabilirlik
i. Uygulama sisteminin sızdırmazlığının sağlanması ve etkili bir ekstraksiyon çekerocağı kullanılarak kaplama ürünü kayıplarının en aza indirilmesi Uygulama sisteminin düzgün inşası ve sızdırmazlığı, havaya reaksiyona girmemiş ürün kayıplarını en aza indirmede esastır.	Teknik genel olarak uygulanabilir
ii. İkinci arıtma sistemi uygulandığında (filtre ve kuru veya yarı kuru yıkayıcı), kaplama işlemlerinden çıkan baca gazının ergitergitme fırınından çıkan atık gazla veya fırının yanma havasıyla birleştirilmesi Kimyasal uyumluluğa bağlı olarak, kaplama işlemlerinden kaynaklanan atık gazlar, arıtmadan önce diğer baca gazları ile birleştirilebilir. Aşağıdaki iki seçenek uygulanabilir: - ikincil bir azaltma sisteminden (kuru veya yarı kuru temizleme artı filtreleme sistemi) önce, ergitergitme fırınından çıkan baca gazları ile birleştirme - rejeneratöre girmeden önce yakma havası ile birleştirme, ardından ergitergitme işlemi sırasında oluşan atık gazların ikincil önlemler işlemi (kuru veya yarı kuru temizleme + filtreleme sistemi)	ErgitErgitme fırınından çıkan baca gazları ile birleştirme genellikle uygulanabilir. Yanma havası ile birleştirme, cam kimyası ve rejeneratör malzemeleri üzerindeki bazı potansiyel etkilerden dolayı teknik kısıtlamalardan etkilenebilir.
iii. İkincil bir teknik uygulanması, ör. yağ yıkama, kuru yıkama + filtreleme sistemi ⁽¹⁾	Teknikler genel olarak uygulanabilir

⁽¹⁾Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.4 ve 5.10.7 kısımlarında verilmiştir.

Tablo 5.12: Cam ambalaj sektöründe ilave işlemlerin baca gazlarının birbirinden ayrı arıtıldığı durumlarda, sıcak kaplama faaliyetlerinden hava emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
Toz	<10
Ti olarak ifade edilen titanyum bileşikleri	<5
Sn olarak ifade edilen organokalay dâhil kalay bileşikleri	<5
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	<30

23. Yüzey işleme operasyonları için SO₃ kullanıldığında MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak SO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Uygulama sisteminin sızdırmazlığını sağlayarak ürün kayıplarının en aza indirilmesi Uygulama sisteminin düzgün inşası ve bakımı, havaya reaksiyona girmemiş ürün kayıplarını en aza indirmede esastır.	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Yaş yıkama gibi ikincil bir tekniğin uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.6 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.13: Cam ambalaj sektöründe yüzey işleme faaliyetlerinde SO₃'ün kullanıldığı ve ayrı arıtma yapıldığı durumlarda, ilave faaliyetlerden salınan SO_x emisyonları için MET-İES

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	<100 - 200

5.3 Düz cam imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm düz cam tesislerine uygulanabilir.

5.3.1 ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları

24. MET, elektrostatik toz tutucu veya torbalı filtre sistemi kullanılarak ergitergitme fırınının atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılmasıdır.

Tekniklerin bir açıklaması 5.10.1 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.14: Düz cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
Toz	<10 - 20	<0,025 - 0,05

⁽¹⁾ Tablo 5.2'derapor edilen çevirim katsayısı ($2,5 \times 10^{-3}$) uygulanmıştır.

5.3.2 ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO_x)

25. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

I. birincil teknikler, örneğin:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Uygulanabilirlik, daha düşük fırın verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi (yani rejeneratif fırınlar yerine reküperatif fırınların kullanılması) nedeniyle özel düz cam üretimi için kullanılan küçük kapasiteli fırınlar ve tesise özel koşullar ile sınırlıdır.
(c) Kademeli yakma: ○ Hava kademelendirme ○ Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, geleneksel hava/yakıt fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır
(d) Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır
(e) Düşük NO _x brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Teknik kısıtlamalar ve fırının esnekliğinin daha az olması nedeniyle yandan ateşlemeli, gazlı fırınlara yönelik uygulamalarda elde edilen çevresel faydalar genellikle daha düşüktür. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.

(f) Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
ii. Fenix prosesi	Uygulanabilirlik, yandan ateşlemeli rejeneratif fırınlarla sınırlıdır. Yeni fırınlarda uygulanabilir. Mevcut fırınlar için teknik, fırının tasarımı ve inşası sırasında, fırının komple yenilenmesi ile doğrudan entegre olmayı gerektirir
Yandan ateşlemeli rejeneratif flot cam fırınlarının yanmasının optimizasyonuna yönelik birincil tekniklerin bir kombinasyonuna dayanmaktadır Başlıca özellikleri şunlardır:	
- o fazla yanma havasının azaltılması - o sıcak noktaların bastırılması ve alev sıcaklıklarının homojenleştirilmesi; ve - o yakıt ile yanma havasının kontrollü karışımı	
iii. Oksi-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

II. ikincil teknikler, örneğin:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakıtlı kimyasal azaltma	Rejeneratif fırınlarda uygulanabilir. Uygulanabilirlik, artan yakıt tüketimi ve sonucunda ortaya çıkan çevresel ve ekonomik etki ile sınırlıdır
ii. Seçici katalitik indirgeme (SCR)	Uygulamada, toz emisyonu konsantrasyonlarının 10 - 15 mg/Nm ³ 'ün altında olmasını garanti altına almak için toz azaltma sisteminin yenilenmesi ve SO _x emisyonlarının giderilmesi için kükürt giderme sistemi gerekli olabilir Optimum çalışma sıcaklığı penceresi nedeniyle, uygulanabilirlik elektrostatik toz tutucu kullanımı ile sınırlıdır. Teknik genellikle torbalı filtre sistemi ile kullanılmaz, çünkü 180 - 200 °C aralığındaki düşük işletim sıcaklığı, atık gazların yeniden ısıtılmasını gerektirebilir. Tekniğin uygulanması, önemli miktarda alanın kullanılabilir olmasını gerektirebilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.15: Düz cam sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yanma modifikasyonları, Fenix prosesi ⁽³⁾	700 - 800	1,75 - 2,0
	Oksi-fuel ergitme ⁽⁴⁾	Uygulanamaz	<1,25 - 2,0
	İkincil teknikler ⁽⁵⁾	400 - 700	1,0 - 1,75
⁽¹⁾ Özel camların üretimi için bazen nitratlar kullanıldığında yüksek emisyon seviyeleri beklenir. ⁽²⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır. ⁽³⁾ Aralığın düşük seviyeleri, Fenix prosesinin uygulanmasıyla ilişkilidir. ⁽⁴⁾ Ulaşılabilir seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır. ⁽⁵⁾ Aralıktaki yüksek seviyeler, ergitme fırınının olağan veya komple yenilemesine kadar, mevcut tesislerle ilişkilidir. Düşük seviyeler daha yeni/yenilenmiş tesislerle ilişkilidir.			

- 26. Harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda MET, bu hammaddelerin kullanımını en aza indirerek ve aynı zamanda birincil veya ikincil teknikler uygulayarak NO_x emisyonlarını azaltmaktır. İkincil teknikler uygulanıyorsa, Tablo 5.15'te rapor edilen MET-İES'ler geçerlidir.**

Sınırlı sayıda kısa süreli çalıştırmalar ile özel camların üretimindeki harman reçetelerinde nitratların kullanıldığı durumlar için MET-İES'ler Tablo 5.16'da gösterilmektedir.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Birincil teknikler: harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi Nitrat kullanımı, özel üretimler (yani renkli cam) için uygulanır. Alternatif etkili malzemeler sülfatlar, arsenik oksitler ve seryum oksittir.	Harman reçetesinde nitratların ikame edilmesi, alternatif malzemelerin yüksek maliyetleri ve/veya daha ciddi çevresel etkileri ile sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.16: Düz cam sektöründe, özel camların üretimindeki sınırlı sayıda kısa çalıştırmada harman reçetesinde nitrat kullanılan durumlarda ergitme fırınından salınan NO_x emisyonları için MET-İES

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Birincil teknikler	<1200	<3
⁽¹⁾ Özel durumlar için Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır.			

5.3.3 Ergitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

- 27. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:**

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
ii. Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi genellikle nihai cam ürününün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir. Kükürt dengesinin optimize edilmesi için, SO_x emisyonlarının giderilmesi ile katı atık (filtre tozu) yönetimi arasında bir dengeleşim yaklaşımı benimsenmelidir
iii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.3 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.17: Düz cam sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan SOX emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Yakıt	MET-İES ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Doğalgaz	<300 - 500	<0,75 - 1,25
	Fuel oil ^{(3) (4)}	500 - 1300	1,25 - 3,25
⁽¹⁾ Daha düşük seviyeler, SO _x 'in azaltılmasının daha düşük katı atık, yani sülfat açısından zengin filtre tozu üretilmesine göre yüksek önceliğe sahip olduğu koşullarla ilişkilidir. ⁽²⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır. ⁽³⁾ İlişkili emisyon seviyeleri, ikincil önlemler teknikleri ile birlikte %1 kükürtlü fuel oil kullanımı içindir. ⁽⁴⁾ Büyük düz cam fırınları için, ulaşılması mümkün emisyon seviyelerine ilişkin hususlarda kükürt dengesinin araştırılması gerekebilir. Tabloda belirtilen değerlerin filtre tozu geri dönüşümü ile birlikte elde edilmesi zor olabilir.			

5.3.4 Ergitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

28. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türünün kısıtlamaları ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.4 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.18: Düz cam sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür ⁽²⁾	<10 - 25	<0,025 - 0,0625
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<1 - 4	<0,0025 - 0,010
⁽¹⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır. ⁽²⁾ Aralığın yüksek değerleri, filtre tozunun harman reçetesinde geri dönüşümü ile ilişkilidir.		

5.3.5 Ergitme fırınlarından salınan metaller

29. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türüne özgü kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Bir filtreleme sisteminin kullanılması	Teknik genel olarak uygulanabilir
iii. Bir filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.19: Selenyumla renklendirilen camlar hariç, düz cam sektöründeki ergitergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1	<0,5 - 2,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<2,5 - 12,5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Aralıklar, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.

⁽²⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10⁻³) uygulanmıştır.

30. Harman reçetesinde camı renklendirmek için selenyum bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda MET, ergitergitme fırınından çıkan selenyum emisyonlarını azaltmak için aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Camda daha yüksek tutunma verimliliğine ve daha az uçuculuğa sahip hammaddeleri seçerek harman bileşiminden selenyumun buharlaşmasını en aza indirmek	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türüne özgü kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Bir filtreleme sisteminin kullanılması	Teknik genel olarak uygulanabilir
iii. Bir filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.20: Düz cam sektöründe renkli cam üretimi için kullanılan ergitergitme fırınından kaynaklanan selenyum emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ^{(1) (2)}	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽³⁾
Se olarak ifade edilen selenyum bileşikleri	1 - 3	2,5 - 7,5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Değerler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan selenyum toplamını ifade eder.

⁽²⁾ Daha düşük seviyeler, Se emisyonlarının azaltılmasının, filtre tozundan daha düşük katı atık üretimi sağlamaya göre bir öncelik olduğu koşullara karşılık gelir. Bu durumda, yüksek bir stokiometrik oran (reaktif/kirletici) uygulanır ve önemli bir katı atık akışı üretilir.

⁽³⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10⁻³) uygulanmıştır.

5.3.6 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

31. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ilave işlemlerden havaya salınan emisyonları azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Uygulama sisteminin sızdırmazlığını sağlayarak düz cama uygulanan kaplama ürünlerinin kayıplarının en aza indirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Kontrol sistemini optimum bir şekilde çalıştırarak soğutma tüneline kaynaklanan SO ₂ kayıplarının en aza indirilmesi	
iii. Soğutmadan kaynaklanan SO ₂ emisyonlarının, teknik olarak uygulanabilir olduğu durumlarda, ikincil bir arıtma sisteminin kullanıldığı ergitme fırınından çıkan atık gazla birleştirilmesi (filtre + kuru veya yarı kuru yıkayıcı)	
iv. İkincil bir teknik uygulanması, ör. yağ yıkama veya kuru yıkama + filtreleme	Teknikler genel olarak uygulanabilir. Tekniğin seçimi ve performansı, giren atık gaz bileşimine bağlı olacaktır.
⁽¹⁾ İkincil arıtma sistemlerinin tanımı 5.10.3 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.21: Düz cam sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
Toz	<15-20
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	<10
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<1 - 5
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	<200
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5

5.4 Kesintisiz cam elyaf imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm kesintisiz cam elyaf imalat tesislerine uygulanabilir.

5.4.1 ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları

Bu bölümde toz için rapor edilen MET-İES'ler, katı bor bileşikler dahil, ölçüm noktasında katı olan tüm malzemeler içindir. Ölçüm noktasında gaz halinde bulunan bor bileşikler dâhil değildir.

32. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitergitme fırını atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Hammadde modifikasyonları ile uçucu bileşenlerin azaltılması Bor bileşikler içermeyen veya düşük seviyelerde bor içeren harman bileşim reçeteleri, esas olarak uçuculaşma olayı ile meydana gelen toz emisyonlarını azaltmak için birincil önlemdir. Bor, ergitergitme fırınından yayılan partikül maddenin ana bileşenidir.	Bor içermeyen veya düşük borlu harman reçeteleri patent kapsamında olduğundan, tekniğin uygulanması tescile ilişkin konularla sınırlıdır Teknik genel olarak uygulanabilir.
ii. Filtreleme sistemi: elektrostatik toz tutucu veya torba filtre	Maksimum çevresel faydalar, filtrenin konumlandırılması ve özelliklerinin kısıtlama olmaksızın karşılaştırılabileceği yeni tesislerdeki uygulamalarda elde edilir.
iii. Yaş yıkama sistemi	Mevcut tesislerde uygulama teknik kısıtlamalarla sınırlı olabilir; çünkü özel bir atık su arıtma tesisine ihtiyaç duyulur.
⁽¹⁾ İkincil arıtma sistemlerinin tanımı 5.10.1 ve 5.10.7 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.22: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Toz	<10 - 20	<0,045 - 0,09
⁽¹⁾ Birincil tekniklerin uygulanmasıyla bor içermeyen reçeteler için <30 mg/Nm ³ 'lük (<0,14 kg/ton erimiş cam) değerler rapor edilmiştir.		
⁽²⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (4,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır.		

5.4.2 Ergitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO_x)

33. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Fırın enerji verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi kısıtlamaları dahilinde, hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Çoğu fırın zaten reküperatif tiptedir.
(c) Kademeli yakma: ○ Hava kademelendirme ○ Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, hava/yakıtlı ve oksî-fuel fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır
(d) Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır
(e) Düşük NO _x brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(f) Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
ii. Oksî-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.23: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yakma modifikasyonları	<600 - 1000	<2,7 - 4,5 (1)
	Oksî-fuel ergitme ⁽²⁾	Uygulanamaz	<0,5 - 1,5
⁽¹⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (4,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır.			
⁽²⁾ Ulaşılabilir seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır.			

5.4.3 ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

34. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Teknik genellikle nihai cam ürününün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir. Kükürt dengesinin optimize edilmesi için, SO _x emisyonlarının giderilmesi ile bertaraf edilmesi gereken katı atık (filtre tozu) yönetimi arasında bir dengeleşim yaklaşımı benimsenmelidir.
ii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir.
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir. Baca gazlarında yüksek konsantrasyonlarda bor bileşiklerinin bulunması, kuru veya yarı kuru yıkama sistemlerinde kullanılan reaktifin azaltma verimliliğini sınırlayabilir.
iv. Yaş yıkama kullanımı	Teknik, genellikle yani bir atık su arıtma tesisine ihtiyaç duyulması gibi teknik kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir.

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.3 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.

Tablo 5.24: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Yakıt	MET-İES ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam (2)
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Doğalgaz ⁽³⁾	<200 - 800	<0,9 - 3,6
	Fuel oil ^{(4) (5)}	<500 - 1000	<2,25 - 4,5

⁽¹⁾ Aralığın yüksek seviyeleri, harman reçetesinde camın rafine edilmesi için sülfatların kullanıldığı durumlarla ilişkilidir.

⁽²⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı ($4,5 \times 10^{-3}$) uygulanmıştır.

⁽³⁾ Islak yıkama uygulanan oksi-fuel fırınlar için, MET-İES'in SO₂ olarak ifade edilen SO_x için <0,1 kg/ton erimiş cam olduğu bildirilmektedir.

⁽⁴⁾ İlişkili emisyon seviyeleri, ikincil önlemler teknikleri ile birlikte %1 kükürtlü fuel oil kullanımı içindir.

⁽⁵⁾ Daha düşük seviyeler, SO_x'in azaltılmasının daha düşük katı atık, yani sülfat açısından zengin filtre tozu üretilmesine göre yüksek önceliğe sahip olduğu koşullara karşılık gelir. Bu durumda daha düşük değerler torbalı filtre kullanımı ile ilişkilidir.

5.4.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

35. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik (1)	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak harman reçetesinin kısıtlamaları ve hammaddelerin mevcudiyeti dahilinde uygulanabilir
ii. Harman reçetesindeki flor içeriğinin en aza indirilmesi ErgitErgitme işleminden kaynaklanan flor emisyonlarının en aza indirilmesi şu şekilde sağlanabilir: - harman reçetesinde kullanılan flor bileşiklerinin (örn. florspar) miktarının, nihai ürünün kalitesiyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi/azaltılması. Flor bileşikleri ergitergitme sürecini optimize etmek, elyaflaşmaya yardımcı olmak ve lif kırılmasını en aza indirmek için kullanılır. - flor bileşiklerinin alternatif malzemelerle (örn. sülfatlar) değiştirilmesi	Flor bileşiklerinin alternatif malzemelerle ikame edilmesi, ürünün kalite gereklilikleriyle sınırlıdır
iii. filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
iv. yaş yıkama	Teknik, genellikle yani bir atık su arıtma tesisine ihtiyaç duyulması gibi teknik kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.4 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.25: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	<10	<0,05
HF olarak ifade edilen hidrojen florür ⁽²⁾	<5 - 15	<0,02 - 0,07
⁽¹⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (4,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır.		
⁽²⁾ Aralığın yüksek değerleri, harman reçetesinde flor bileşiklerinin kullanımı ile ilişkilidir.		

5.4.5 ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller

36. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak hammaddelerin mevcudiyetine dair kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir
ii. Bir filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
iii. Yaş yıkama uygulaması	Teknik, genellikle yani bir atık su arıtma tesisine ihtiyaç duyulması gibi teknik kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.26: Kesintisiz cam elyaf sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES (1)	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1	<0,9 - 4,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 3	<4,5 - 13,5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Seviyeler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.
⁽²⁾ Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (4,5 x 10⁻³) uygulanmıştır.

5.4.6 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

37. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ilave işlemlerden salınan emisyonları azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yaş yıkama sistemleri	Teknikler, şekillendirme işleminden (liflere kaplama uygulanması) çıkan veya kondenzasyonu veya kurutulması gereken bağlayıcı kullanımını içeren ikincil işlemlerden kaynaklanan atık gazların arıtılması için genel olarak uygulanabilir.
ii. Yaş elektrostatik toz tutucular	
iii. Filtreleme sistemi (torbalı filtre)	Teknik ürünlerin kesme ve öğütme işlemlerinden kaynaklanan atık gazların arıtılması için genel olarak uygulanabilir.

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.7 ve 5.10.8 kısımlarında verilmiştir.

Tablo 5.27: Kesintisiz cam elyaf sektöründe, ayrı olarak arıtılan ilave süreçler için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
Şekillendirme ve kaplamadan kaynaklanan emisyonlar	
Toz	<5 - 20
Formaldehit	<10
Amonyak	<30
C olarak ifade edilen toplam uçucu organik bileşikler	<20
Kesme ve frezelemeden kaynaklanan emisyonlar	
Toz	<5 - 20

5.5 Cam ev eşyaları imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm cam ev eşyaları tesislerine uygulanabilir.

5.5.1 Ergitme fırınlarından salınan toz emisyonları

MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitme fırını atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik (1)	Uygulanabilirlik
i. Hammadde modifikasyonları ile uçucu bileşenlerin azaltılması. Hammadde bileşiminin reçetesi, ergitme fırınından kaynaklanan toz emisyonlarının oluşumuna önemli ölçüde katkıda bulunan çok uçucu bileşenleri (örneğin bor, florürler) içerebilir.	Teknik, genel olarak üretilen cam tipine ilişkin kısıtlamalar ve ikame hammaddelerin mevcudiyeti dahilinde uygulanabilir
ii. Elektrikli ergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz. Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir
iii. Oksi-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir
iv. Filtreleme sistemi: elektrostatik toz tutucu veya torba filtre	Teknikler genel olarak uygulanabilir
v. Yaş yıkama sistemi	Uygulanabilirlik, özellikle baca gazı hacimlerinin ve toz emisyonlarının genellikle düşük ve harman bileşiminin taşınmasıyla ilgili olduğu elektrikli ergitme fırınlarının kullanımı gibi, belirli durumlarla sınırlıdır.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 ve 5.10.7 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.28: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
Toz	<10 - 20 ⁽²⁾	<0,03 - 0,06
	<1 - 10 ⁽³⁾	<0,003 - 0,03
⁽¹⁾ 3 x 10 ⁻³ lük bir çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir.		
⁽²⁾ Soda-kireç camı üreten <80 t/gün kapasiteli fırınlarda MET-İES'lere ulaşmada ekonomik uygulanabilirliğe ilişkin hususlar rapor edilmiştir.		
⁽³⁾ Bu MET-İES, (AK) 1272/2008 sayılı Yönetmelik uyarınca tehlikeli madde kriterlerini karşılayan önemli miktarda bileşeni içeren harman reçeteleri için geçerlidir.		

5.5.2 Ergitme fırınlarından salınan toz emisyonları

39. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

I. birincil teknikler, örneğin:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Daha düşük fırın verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi nedeniyle, yalnızca tesise özel koşullar altında (yani, rejeneratif fırınlar yerine reküperatif fırınların kullanılması durumunda) geçerlidir
(c) Kademeli yakma: - Hava kademelendirme - Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, geleneksel hava/yakıt fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır
(d) Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır
(e) Düşük NO _x brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Teknik kısıtlamalar ve fırının esnekliğinin daha az olması nedeniyle yandan ateşlemeli, gazlı fırınlara yönelik uygulamalarda elde edilen çevresel faydalar genellikle daha düşüktür. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(f) Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
ii. Özel fırın tasarımı	Uygulanabilirlik, yüksek seviyelerde (>%70) yabancı cam kırıntısı içeren harman reçeteleri ile sınırlıdır. Uygulama, ergitme fırınının tamamen yenilenmesini gerektirir. Fırının şekli (uzun ve dar) alan kısıtlamalarına neden olabilir
iii. Elektrikli ergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz. Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz. Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir
iv. Oksi-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.29: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yakma modifikasyonları, özel fırın tasarımları	<500 - 1000	<1,25 - 2,5
	Elektrikli ergitme	<100	<0,3
	Oksi-fuel ergitme ⁽²⁾	Uygulanamaz	<0,5 - 1,5

⁽¹⁾ Yakma modifikasyonları ve özel fırın tasarımları için 2,5 x 10⁻³'lük çevrim katsayısı, elektrikli ergitme için 3 x 10⁻³'lük çevrim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevrim katsayısının uygulanması gerekebilir.

⁽²⁾ Ulaşılabilir seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır.

- 40. Harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda MET, bu hammaddelerin kullanımını en aza indirerek ve aynı zamanda birincil veya ikincil teknikler uygulayarak NO_x emisyonlarını azaltmaktır.**

MET-İES'ler Tablo 5.29'de verilmiştir.

Sınırlı sayıda kısa çalıştırmalar için veya özel tip soda-kireç camları (berrak/ultra-berrak cam veya selenyumla renklendirilmiş cam) üreten <100 t/gün kapasiteli ergitergitme fırınları için harman reçetelerinde nitratların kullanıldığı durumlarda ve diğer özel camlar (borosilikat, cam seramikler, opal cam, kristal ve kurşunlu kristal) için MET-İES'ler Tablo 5.30'da gösterilmektedir.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Birincil teknikler: Harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi Nitrat kullanımı, çok renksiz (berrak) bir camın gerekli olduğu yüksek kaliteli veya özel camların üretildiği için uygulanmaktadır. Alternatif etkili malzemeler sülfatlar, arsenik oksitler ve seryum oksittir.	Harman reçetesinde nitratların ikame edilmesi, alternatif malzemelerin yüksek maliyetleri ve/veya daha ciddi çevresel etkileri ile sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.30: Cam ev eşyaları sektöründe sınırlı sayıda kısa çalıştırmalar için veya özel tip soda-kireç camları (berrak/ultra-berrak cam veya selenyumla renklendirilmiş cam) üreten <100 t/gün kapasiteli ergitergitme fırınları için harman reçetelerinde nitratların kullanıldığı durumlarda ve diğer özel camlar (borosilikat, cam seramikler, opal cam, kristal ve kurşunlu kristal) için NO_x emisyonlarına ilişkin MET-İES'ler

Parametre	Fırın tipi	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yakıt/havali geleneksel fırınlar	<500 - 1500	<1,25 - 3,75 ⁽¹⁾
	Elektrikli ergitergitme	<300 - 500	<8 - 10
⁽¹⁾ Soda-kireç camı için Tablo 5.2'de rapor edilen çevirim katsayısı (2,5 x 10 ⁻³) uygulanmıştır.			

5.5.3 ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

- 41. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:**

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi genellikle nihai cam ürününün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir. Kükürt dengesinin optimize edilmesi için, SO _x emisyonlarının giderilmesi ile katı atık (filtre tozu) yönetimi arasında bir dengeleşim yaklaşımı benimsenmelidir
ii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.3 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.31: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Yakıt/ergitergitme tekniği	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Doğalgaz	<200 - 300	<0,5 - 0,75
	Fuel oil ⁽²⁾	<1000	<2,5
	Elektrikli ergitergitme	<100	<0,25
⁽¹⁾ 2.5 x 10 ⁻³ 'lük bir çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir.			
⁽²⁾ Seviyeler, ikincil önlemler teknikleri ile birlikte %1 kükürtlü fuel oil kullanımı içindir.			

5.5.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

42. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türünün harman reçetesine ilişkin kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Harman reçetesindeki flor içeriğinin en aza indirilmesi ve flor kütle dengesinin optimizasyonu ErgitErgitme işleminden kaynaklanan flor emisyonlarının en aza indirilmesi, harman reçetesinde kullanılan flor bileşiklerinin (örn. flüspat) miktarının nihai ürünün kalitesiyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi/azaltılması ile sağlanabilir. Flor bileşikleri, cama opak veya bulanık bir görünüm vermek için harman reçetesine eklenir	Teknik genellikle nihai ürünün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir.
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
iv. Yaş yıkama	Teknik, genellikle yani bir atık su arıtma tesisine ihtiyaç duyulması gibi teknik kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir. Su arıtımından çıkan çamur veya katı kalıntıların geri dönüşümündeki kısıtlamalar dâhil olmak üzere atık su arıtımına dair konular ve yüksek maliyetler, bu tekniğin uygulanabilirliğini sınırlayabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.4 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.32: Cam ev eşyaları sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür ⁽²⁾⁽³⁾	<10 - 20	<0,03 - 0,06
HF olarak ifade edilen hidrojen florür ⁽⁴⁾	<1 - 5	<0,003 - 0,015

⁽¹⁾ 3×10^{-3} lük bir çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir.

⁽²⁾ Daha düşük değerler elektrikli ergitme kullanımı ile ilişkilidir.

⁽³⁾ Rafinasyon maddesi olarak KCl veya NaCl'nin kullanıldığı durumlarda, MET-İES <30 mg/Nm³ veya <0,09 kg/ton erimiş cam'dır.

⁽⁴⁾ Daha düşük değerler elektrikli ergitme kullanımı ile ilişkilidir. Daha yüksek seviyeler, opal cam üretimi, filtre tozunun geri dönüşümü veya harman reçetesinde yüksek seviyelerde yabancı cam kırıntılarının kullanıldığı durumlar ile ilişkilidir.

5.5.5 Ergitme fırınlarından salınan metaller

43. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türüne özgü kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir
ii. Camın renklendirilmesinin ve renginin giderilmesinin gerektiği veya cama belirli özelliklerin verildiği durumlarda uygun hammadde seçimi yoluyla harman reçetesindeki metal bileşiklerinin kullanımının en aza indirilmesi	Kristal ve kurşun kristal camların üretiminde harman reçetesinde bulunan metal bileşiklerin en aza indirilmesi, nihai cam ürünlerinin kimyasal bileşimini tanımlayan 69/493/AET Direktifinde tanımlanan kısıtlamalar dahilinde sınırlıdır.
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.33: Renk giderme için selenyumun kullanıldığı camlar hariç, düz cam sektöründeki ergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1	<0,6 - 3×10^{-3}
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<3 - 15×10^{-3}

⁽¹⁾ Seviyeler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.

⁽²⁾ 3×10^{-3} lük bir çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir.

- 44. Harman reçetesinde camı renksizleştirmek için selenyum bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda MET, ergitergitme fırınından çıkan selenyum emisyonlarını azaltmak için aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanmaktır:**

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Uygun hammadde seçimiyle harman reçetesinde selenyum bileşiği kullanımının en aza indirilmesi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türüne özgü kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir
ii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.34: Cam ev eşyaları sektöründe camın rengini gidermek için selenyum bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınından çıkan selenyum emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES (1)	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Se halindeki selenyum bileşikleri	<1	<3 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Değerler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan selenyum toplamını ifade eder.
⁽²⁾ 3 x 10⁻³'lük bir çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir.

- 45. Kurşun kristal cam üretimi için kurşun bileşikleri kullanıldığında, MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını uygulayarak ergitergitme fırınından kaynaklanan kurşun emisyonlarının azaltılmasıdır:**

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Elektrikli ergitergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz. Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz. Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir Teknik genel olarak uygulanabilir
ii. Torbalı filtre	
iii. Elektrostatik toz tutucu	
iv. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.1 ve 5.10.5 kısımlarında verilmiştir.

Tablo 5.35: Cam ev eşyaları sektöründe kurşunlu kristal cam üretimi için kurşun bileşiklerinin kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınından çıkan kurşun emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES (1)	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Pb olarak ifade edilen kurşun bileşikleri	<0,5 - 1	<1 - 3 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Değerler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan kurşunun toplamını ifade eder.
⁽²⁾ 3 x 10⁻³'lük bir çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, belirli üretimler için duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir.

5.5.6 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

46. İlave tozlu prosesler için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak toz ve metal emisyonlarının azaltılmasıdır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Tozlu işlemlerin (örneğin kesme, frezeleme, parlatma) sıvı altında gerçekleştirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Torbalı filtre sistemi uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 5.10.8 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.36: Cam ev eşyaları sektöründeki ilave tozlu işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
Toz	<1 - 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽¹⁾	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽¹⁾	<1 - 5
Pb olarak ifade edilen kurşun bileşikleri ⁽²⁾	<1 - 1,5
⁽¹⁾ Seviyeler, atık gazda bulunan metallerin toplamı içindir.	
⁽²⁾ Seviyeler, kurşun kristal cam üzerindeki ilave işlemler içindir.	

47. Asitle parlatma işlemleri için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Uygulama sisteminin sızdırmazlığını sağlayarak cila ürünlerinin kayıplarının en aza indirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Yaş yıkama gibi ikincil bir tekniğin uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.6 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.37: Cam ev eşyaları sektöründeki asitle parlatma işlemlerinden çıkan HF emisyonlarının ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<5

5.6 Özel cam imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm özel cam tesislerine uygulanabilir.

5.6.1 ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları

48. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitergitme fırını atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Hammadde modifikasyonları ile uçucu bileşenlerin azaltılması Harman bileşiminin reçetesi, ergitergitme fırınından yayılan tozun ana bileşenleri olan çok uçucu bileşenler (örn. bor, florürler) içerebilir	Teknik, genel olarak üretilen camın kalitesine dair kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir
ii. Elektrikli ergitergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir
iii. Filtreleme sistemi: elektrostatik toz tutucu veya torba filtre	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 5.10.1 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.38: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
Toz	<10 - 20	<0,03 - 0,13
	<1 - 10 ⁽²⁾	<0,003 - 0,065
⁽¹⁾ MET-İES aralığının alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için $2,5 \times 10^{-3}$ ve $6,5 \times 10^{-3}$ çevirim katsayıları kullanılmış, bazı değerler yaklaşık olarak alınmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, üretilen camın tipine bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısı uygulanması gerekir (bkz. Tablo 5.2).		
⁽²⁾ MET-İES'ler, (AK) 1272/2008 sayılı Yönetmelik uyarınca tehlikeli madde kriterlerini karşılayan önemli miktarda bileşeni içeren harman reçeteleri için geçerlidir.		

5.6.2 Ergitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO_x)

49. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

I. birincil teknikler, örneğin:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Daha düşük fırın verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi nedeniyle, yalnızca tesise özel koşullar altında (yani, rejeneratif fırınlar yerine reküperatif fırınların kullanılması durumunda) geçerlidir.
(c) Kademeli yakma: - Hava kademelendirme - Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, geleneksel hava/yakıt fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır.
(d) Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır.
(e) Düşük NO _x brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Teknik kısıtlamalar ve fırının esnekliğinin daha az olması nedeniyle yandan ateşlemeli, gazlı fırınlara yönelik uygulamalarda elde edilen çevresel faydalar genellikle daha düşüktür. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(f) Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
ii. Elektrikli ergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz. Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz. Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir.
iii. Oksi-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

II. ikincil teknikler, örneğin:

Teknik (1)	Uygulanabilirlik
i. Seçici katalitik indirgeme (SCR)	Uygulama, 10 - 15 mg/Nm ³ 'ün altındaki toz konsantrasyonlarını garanti etmek için toz azaltma sisteminin yükseltilmesini ve SO _x emisyonlarının giderilmesi için bir kükürt giderme sistemi kullanılmasını gerektirebilir. Optimum işletim sıcaklığı penceresi nedeniyle, uygulanabilirlik elektrostatik toz tutucuların kullanımı ile sınırlıdır. Teknik genellikle torbalı filtre sistemi ile kullanılmaz, çünkü 180 - 200 °C aralığındaki düşük işletim sıcaklığı, atık gazların yeniden ısıtılmasını gerektirebilir. Tekniğin uygulanması, önemli miktarda alanın kullanılabilir olmasını gerektirebilir.
ii. Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)	Doğru sıcaklık aralığına erişmenin zor olduğu veya bu aralığın baca gazlarının reaktif ile iyi bir şekilde karışmasına izin vermediği geleneksel rejeneratif fırınlara uygulanabilirliği oldukça sınırlıdır. Ayrı rejeneratörlerle donatılmış yeni rejeneratif fırınlara uygulanabilir; bununla birlikte, bölmeler arasındaki alevlerin tersine çevrilmesi nedeniyle döngüsel bir sıcaklık değişimi meydana geldiğinden, sıcaklık aralığının korunması zordur.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.39: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yakma modifikasyonları	600 - 800	1,5 - 3,2
	Elektrikli ergitergitme	<100	<0,25 - 0,4
	Oksi-fuel ergitergitme ^{(2) (3)}	Uygulanamaz	<1 - 3
	İkincil teknikler	<500	<1 - 3
⁽¹⁾ MET-İES aralığının alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için $2,5 \times 10^{-3}$ ve 4×10^{-3} çevirim katsayıları kullanılmış, bazı değerler yaklaşık olarak alınmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, üretim tipine bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısı uygulanması gerekir (bkz. Tablo 5.2). ⁽²⁾ Daha yüksek değerler, farmasötik kullanıma yönelik özel bir borosilikat cam tüp üretimine ilişkindir. ⁽³⁾ Ulaşılabilir seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır.			

50. Harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda MET, bu hammaddelerin kullanımını en aza indirerek ve aynı zamanda birincil veya ikincil teknikler uygulayarak NO_x emisyonlarını azaltmaktır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Birincil teknikler harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi Nitrat kullanımı, cama karakteristik özelliklerin verilmesinin gerektiği, yüksek kaliteli ürünler için uygulanır. Alternatif etkili malzemeler sülfatlar, arsenik oksitler ve seryum oksittir.	Harman reçetesinde nitratların ikame edilmesi, alternatif malzemelerin yüksek maliyetleri ve/veya daha ciddi çevresel etkileri ile sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.40: Özel cam sektöründe harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Birincil veya ikincil tekniklerle birlikte, harman reçetesindeki nitrat girdisinin en aza indirilmesi	<500 - 1000	<1 - 6
⁽¹⁾ Daha düşük değerler elektrikli ergitergitme kullanımı ile ilişkilidir. ⁽²⁾ MET-İES aralığının alt ve üst değerlerinin belirlenmesi için sırasıyla $2,5 \times 10^{-3}$ ve $6,5 \times 10^{-3}$ çevirim katsayıları kullanılmış, değerler yaklaşık olarak verilmiştir. Üretim tipine bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısı uygulanması gerekebilir (bkz. Tablo 5.2).			

5.6.3 ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

51. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik (1)	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Teknik genellikle nihai cam ürününün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir
ii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.3 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.41: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Yakıt/ergitergitme tekniği	MET-İES ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Doğalgaz, elektrikli ergitergitme ⁽²⁾	<30 - 200	<0,08 - 0,5
	Fuel oil ⁽³⁾	500 - 800	1,25 - 2
⁽¹⁾ Aralıklarda, üretilen cam türüyle ilişkili değişken kükürt dengeleri hesaba katılmıştır.			
⁽²⁾ 2.5 x 10 ⁻³ lük çevirim katsayısı (bkz. Tablo 5.2) kullanılmıştır. Ancak, üretim tipine bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısı uygulanması gerekebilir.			
⁽³⁾ Daha düşük değerler elektrikli ergitergitme ve sülfatsız harman reçetelerinin kullanımı ile ilişkilidir.			
⁽⁴⁾ İlişkili emisyon seviyeleri, ikincil önlemler teknikleri ile birlikte %1 kükürtlü fuel oil kullanımı içindir.			

5.6.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

52. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türünün harman reçetesine ilişkin kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir.
ii. Harman reçetesinde flor ve/veya klor bileşiklerinin en aza indirilmesi ve flor ve/veya klor kütle dengesinin optimizasyonu Flor bileşikleri, özel camlara (yani opak aydınlatma camı, optik cam) belirli özellikler kazandırmak için kullanılır. Klor bileşikleri ise borosilikat cam üretimi için inceltici maddeler olarak kullanılabilir	Teknik genellikle nihai ürünün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir.
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.4 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.42: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür ⁽²⁾	<10 - 20	<0,03 - 0,05
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<1 - 5	<0,003 - 0,04 ⁽³⁾
⁽¹⁾ $2,5 \times 10^{-3}$ lük çevirim katsayısı (bkz. Tablo 5.2) kullanılmış, bazı değerler yaklaşık olarak alınmıştır. Üretim tipine bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısı uygulanması gerekebilir.		
⁽²⁾ Yüksek değerler, harman reçetesinde klor içeren malzemelerin kullanımı ile ilişkilidir.		
⁽³⁾ Aralığın üst değeri, rapor edilen birtakım verilerden türetilmiştir.		

5.6.5 ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller

53. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik (1)	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Uygulanabilirlik, tesiste üretilen cam türüne özgü kısıtlamalar ve hammaddelerin kullanılabilirliği ile sınırlı olabilir
ii. Camın renklendirilmesinin ve renginin giderilmesinin gerektiği veya cama belirli özelliklerin verildiği durumlarda uygun hammadde seçimi yoluyla harman reçetesindeki metal bileşiklerinin kullanımının en aza indirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.43: Özel cam sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ^{(1) (2)}	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽³⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,1 - 1	<0,3 - 3×10^{-3}
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<3 - 15×10^{-3}
⁽¹⁾ Seviyeler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.		
⁽²⁾ Düşük seviyeler, harman reçetesinde metal bileşiklerinin kasıtlı olarak kullanılmadığı durumlardaki MET-İES'lerdir.		
⁽³⁾ $2,5 \times 10^{-3}$ lük çevirim katsayısı (bkz. Tablo 5.2) kullanılmış, tabloda belirtilen bazı değerler yaklaşık olarak alınmıştır. Üretim tipine bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısı uygulanması gerekebilir.		

5.6.6 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

54. İlave tozlu prosesler için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak toz ve metal emisyonlarının azaltılmasıdır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Tozlu işlemlerin (örneğin kesme, frezeleme, parlatma) sıvı altında gerçekleştirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Torbalı filtre sistemi uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 5.10.8 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.44: Özel cam sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak artıldığı durumlar için toz ve metal emisyonlarına ilişkin MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
Toz	1 - 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽¹⁾	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽¹⁾	<1 - 5

⁽¹⁾ Seviyeler, atık gazda bulunan metallerin toplamı içindir.

55. Asitle parlatma işlemleri için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Açıklama
i. Uygulama sisteminin sızdırmazlığını sağlayarak cila ürünlerinin kayıplarının en aza indirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Yaş yıkama gibi ikincil bir tekniğin uygulanması	

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 5.10.6 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.45: Özel cam sektöründeki asitle parlatma işlemlerinden çıkan HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<5

5.7 Maden pamuğu imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm maden pamuğu tesislerine uygulanabilir.

5.7.1 ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları

56. MET, elektrostatik toz tutucu veya torbalı filtre sistemi kullanılarak ergitergitme fırınının atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılmasıdır

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Filtreleme sistemi: elektrostatik toz tutucu veya torba filtre	Teknik genel olarak uygulanabilir. Fırın içinde üretilen karbon monoksit tutuşmasından kaynaklanan patlama riskinden dolayı, taş yünü üretimi için kullanılan kupol ocaklarında elektrostatik toz tutucular kullanılamaz

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 5.10.1 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.46: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
Toz	<10 - 20	<0,02 - 0,050

⁽¹⁾ Hem cam yünü hem de taş yünü imalatlarını kapsamak amacıyla, MET-İES aralığının alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için 2×10^{-3} ve $2,5 \times 10^{-3}$ çevirim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2) ve bazı değerler yaklaşık olarak alınmıştır.

5.7.2 ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO_x)

57. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yakma modifikasyonları	
a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Daha düşük fırın verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi nedeniyle, yalnızca tesise özel koşullar altında (yani, rejeneratif fırınlar yerine reküperatif fırınların kullanılması durumunda) geçerlidir
c) Kademeli yakma: - Hava kademelendirme - Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, geleneksel hava/yakıt fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır
d) Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır
e) Düşük NO _x brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Teknik kısıtlamalar ve fırının esnekliğinin daha az olması nedeniyle yandan ateşlemeli, gazlı fırınlara yönelik uygulamalarda elde edilen çevresel faydalar genellikle daha düşüktür. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
f) Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
ii. Elektrikli ergitergitme	Büyük hacimli (>300 ton/gün) cam imalatlarında uygulanamaz. Çekişte büyük varyasyonların gerekli olduğu üretimlerde uygulanamaz. Uygulama, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir
iii. Oksi-fuel ergitergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.47: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Ürün	ErgitErgitme tekniği	MET-İES	
			mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Cam yünü	Yakıt/hava ve elektrikli fırınlar	<200 - 500	<0,4 - 1,0
		Oksi-fuel ergitergitme ⁽²⁾	Uygulanamaz	<0,5
	Taş yünü	Her türlü fırın	<400 - 500	<1,0 - 1,25

⁽¹⁾ Cam yünü için 2×10^{-3} ve taş yünü için $2,5 \times 10^{-3}$ lük çevirim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2).
⁽²⁾ Ulaşılabilir seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır.

58. Cam yünü üretiminde harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya bir birkaçını kullanarak NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi Nitratlar, yüksek seviyede yabancı kırıntı içeren harman reçetelerinde, kırıntılarında bulunan organik materyalin varlığını telafi etmek için oksitleyici bir madde olarak kullanılır.	Teknik genellikle nihai ürünün kalite gereksinimlerinin kısıtlamaları dahilinde uygulanabilir.
ii. Elektrikli ergitergitme	Teknik genel olarak uygulanabilir. Elektrikli ergitergitme uygulaması, fırının tamamen yenilenmesini gerektirir
iii. Oksi-fuel ergitergitme	Teknik genel olarak uygulanabilir. Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.48: Cam yünü sektöründe harman reçetesinde nitratların kullanıldığı durumlarda ergitergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Birincil tekniklerle birlikte, harman reçetesindeki nitrat girdisinin en aza indirilmesi	<500 - 700	<1,0 - 1,4 ⁽²⁾

⁽¹⁾ 2×10^{-3} çevirim katsayısı kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2).
⁽²⁾ Aralığın düşük seviyeleri, oksi-fuel ergitergitmenin uygulanmasıyla ilişkilidir.

5.7.3 ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

59. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Cam yünü üretiminde bu teknik, düşük kükürtlü hammaddelerin, özellikle de yabancı cam kırıntılarının mevcudiyetinin kısıtlamaları dahilinde, genel olarak uygulanabilir. Harman reçetesindeki yabancı kırıntıların yüksek düzeyde olması, değişken kükürt içeriği nedeniyle kükürt dengesini optimize etme imkanını sınırlar. Taş yünü üretiminde kükürt dengesinin optimizasyonu, baca gazlarından SO _x emisyonlarının uzaklaştırılması ile baca gazlarının arıtılmasından ve/veya elyaflaştırma işleminden kaynaklanan ve harman reçetesine geri dönüştürülebilecek (çimento briketleri) veya bertaraf edilmesi gereken katı atıkların (filtre tozu) yönetimi arasında bir dengeleşim yaklaşımı gerektirebilir
ii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Elektrostatik toz tutucular, taş yünü üretiminde kullanılan kupol ocaklarına uygulanamaz (bkz. MET 56)
iv. Yaş yıkama kullanımı	Teknik, genellikle yani bir atık su arıtma tesisine ihtiyaç duyulması gibi teknik kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir.
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.3 ve 5.10.6 kısımlarında verilmiştir.	

Tablo 5.49: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Ürün/koşullar	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Cam yünü		
	Gaz yakıtlı ve elektrikli fırınlar ⁽²⁾	<50 - 150	<0,1 - 0,3
	Taş yünü		
	Gaz yakıtlı ve elektrikli fırınlar	<350	<0,9
	Briket veya cüruf geri dönüşümsüz kupol ocakları ⁽³⁾	<400	<1,0
	Çimento briketi veya cüruf geri dönüşümlü kupol ocakları ⁽⁴⁾	<1400	<3,5
⁽¹⁾ Cam yünü için 2×10^{-3} ve taş yünü için $2,5 \times 10^{-3}$ lük çevirim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2). ⁽²⁾ Daha düşük değerler elektrikli ergitergitme kullanımı ile ilişkilidir. Daha yüksek seviyeler ise, yüksek seviyede kırıntı geri dönüşümü ile ilişkilidir. ⁽³⁾ MET-İES, SO _x emisyonlarının azaltılmasının, daha düşük katı atık üretimine göre yüksek önceliğe sahip olduğu koşullarla ilişkilidir. ⁽⁴⁾ Atıkların azaltılmasının SO _x emisyonlarına kıyasla yüksek önceliğe sahip olduğu durumlarda, daha yüksek emisyon değerleri beklenebilir. Ulaşılabilir seviyeler bir kükürt dengesini temel almalıdır.			

5.7.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

60. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Açıklama
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak harman reçetesinin kısıtlamaları ve hammaddelerin mevcudiyeti dahilinde uygulanabilir
ii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Elektrostatik toz tutucular, taş yünü üretiminde kullanılan kupol ocaklarına uygulanamaz (bkz. MET 56)

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.4 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.50: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	Ürün	MET-İES	
		mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	Cam yünü	<5 - 10	<0,01 - 0,02
	Taş yünü	<10 - 30	<0,025 - 0,075
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	Tüm ürünler	<1 - 5	<0,002 - 0,013 ⁽²⁾

⁽¹⁾ Cam yünü için 2×10^{-3} ve taş yünü için $2,5 \times 10^{-3}$ 'lük çevirim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2).
⁽²⁾ MET-İES aralığının alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için 2×10^{-3} and $2,5 \times 10^{-3}$ 'lük çevrim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2).

5.7.5 Taş yünü ergitergitme fırınlarından salınan hidrojen sülfür (H₂S)

61. MET, hidrojen sülfürü SO₂'ye oksitlemek için bir atık gaz yakma sistemi kullanarak ergitergitme fırınından çıkan H₂S emisyonlarını azaltmaktır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Atık gaz yakma sistemi	Teknik taş yünü kupol ocaklarına genel olarak uygulanabilir.

⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.9 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.51: Taş yünü üretiminde ergitergitme fırınından salınan H₂S emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
H ₂ S olarak ifade edilen hidrojen sülfür	<2	<0,005

⁽¹⁾ Taş yünü için $2,5 \times 10^{-3}$ 'lük çevirim katsayısı uygulanmıştır (bkz. Tablo 5.2).

5.7.6 Ergitme fırınlarından salınan metaller

62. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitme fırından kaynaklanan metal emisyonlarını azaltmaktadır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak hammaddelerin mevcudiyetine dair kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir. Cam yünü üretiminde, harman reçetesinde oksitleyici ajan olarak manganezin kullanılması, harman reçetesinde kullanılan yabancı kırıntıların miktarına ve kalitesine bağlıdır ve buna göre en aza indirilebilir
ii. Bir filtreleme sisteminin uygulanması	Elektrostatik toz tutucular, taş yünü üretiminde kullanılan kupol ocaklarına uygulanamaz (bkz. MET 56)
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.5'te verilmiştir.	

Tablo 5.52: Maden pamuğu sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1 ⁽³⁾	<0,4 - 2,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 2 ⁽³⁾	<2 - 5 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Aralıklar, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.		
⁽²⁾ MET-İES aralığının alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için 2 x 10 ⁻³ and 2,5 x 10 ⁻³ 'lük çevrim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2).		
⁽³⁾ Daha yüksek değerler, taş yünü üretimi için kupol ocaklarının kullanımı ile ilişkilidir.		

5.7.7 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

63. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ilave işlemlerden salınan emisyonları azaltmaktadır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Darbeli jetler ve siklonlar Teknik, atık gazlardan partiküllerin ve damlacıkların çarpma/vurma yoluyla uzaklaştırılmasına ve gaz halindeki maddelerin su ile kısmi absorpsiyon ile giderilmesine dayanmaktadır. Proses suyu normalde darbeli jetler için kullanılır. Geri dönüştürülen proses suyu tekrar uygulanmadan önce filtrelendirir	Teknik maden pamuğu sektörüne, özellikle şekillendirme alanından kaynaklanan emisyonların arıtılmasına yönelik cam yünü proseslerine (liflere kaplamanın uygulanması) genel olarak uygulanabilir. Kullanılan diğer azaltma tekniklerini olumsuz etkileyebileceğinden, taş yünü proseslerinde uygulanabilirliği sınırlıdır.
ii. Islak yıkayıcılar	Teknik, şekillendirme işleminden kaynaklanan atık gazların (liflere kaplamanın uygulanması) veya kombine atık gazların (şekillendirme + kondenzasyon) arıtılmasında genel olarak uygulanabilir.
iii. Islak elektrostatik toz tutucular	Teknik, şekillendirme işleminden kaynaklanan atık gazların (liflere kaplamanın uygulanması) veya kondenzasyon fırından çıkan ya da kombine atık gazların (şekillendirme + kondenzasyon) arıtılmasında genel olarak uygulanabilir.

iv.	Taş yünü filtreler	Uygulanabilirlik esas olarak taş yünü proseslerinde şekillendirme alanından ve/veya kondenzasyon fırınlarından çıkan atık gazlar ile sınırlıdır
v.	Atık gaz yakma	Teknik, özellikle taş yünü işlemlerinde, kondenzasyon fırınlarından çıkan atık gazların arıtılması için genel olarak uygulanabilir. Atık gazların yüksek hacmi, düşük konsantrasyonu ve düşük sıcaklığı nedeniyle kombine atık gazlara (şekillendirme + kondenzasyon) uygulanması, ekonomik açıdan uygun değildir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.7 ve 5.10.9 kısımlarında verilmiştir.		

Tablo 5.53: Maden pamuğu sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton hazır ürün
Şekillendirme alanı - Kombine şekillendirme ve kondenzasyon emisyonları - Kombine şekillendirme, kondenzasyon ve soğutma emisyonları		
Toplam partikül madde	<20 - 50	-
Fenol	<5 - 10	-
Formaldehit	<2 - 5	-
Amonyak	30 - 60	-
Aminler	<3	-
C olarak ifade edilen toplam uçucu organik bileşikler	10 - 30	-
Kondenzasyon fırını emisyonları ^{(1) (2)}		
Toplam partikül madde	<5 - 30	<0,2
Fenol	<2 - 5	<0,03
Formaldehit	<2 - 5	<0,03
Amonyak	<20 - 60	<0,4
Aminler	<2	<0,01
C olarak ifade edilen toplam uçucu organik bileşikler	<10	<0,065
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	<100 - 200	<1
⁽¹⁾ kg/ton hazır ürün olarak ifade edilen emisyon seviyeleri, üretilen maden pamuğu keçenin kalınlığından veya baca gazlarının aşırı derişik veya seyreltik olmasından etkilenmez. $6,5 \times 10^{-3}$ 'lük bir çevirim katsayısı kullanılmıştır.		
⁽²⁾ Yüksek yoğunluklu veya yüksek bağlayıcı içerikli maden pamuğu üretimi söz konusu olduğunda, sektör için MET olarak listelenen tekniklerle ilişkili emisyon seviyeleri verilen MET-İES'lerden önemli ölçüde daha yüksek olabilir. Bu tür ürünler, belirli bir tesisteki üretimin büyük bölümünü temsil ediyorsa, diğer tekniklerin kullanımı değerlendirilmelidir.		

5.8 Yüksek sıcaklık yalıtım yünlerinin (HTIW) imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm HTIW tesislerine uygulanabilir.

5.8.1 ErgitErgitme ve ilave işlemlerden kaynaklanan toz emisyonları

64. MET, bir filtreleme sistemi uygulayarak ergitergitme fırınının atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarını azaltmaktadır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Filtreleme sistemi genellikle bir torba filtreden oluşur	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.1 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.54: HTIW sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES mg/Nm ³
Toz	Filtreleme sistemleri ile baca gazı temizliği	<5 - 20 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Değerler, torbalı filtre sisteminin kullanımıyla ilişkilidir.		

65. İlave tozlu prosesler için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak emisyonların azaltılmasıdır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Üretim hattında sızdırmazlığı sağlayarak ürün kayıplarının en aza indirilmesi (teknik olarak uygulanabilir olduğu ölçüde) Potansiyel toz ve lif emisyon kaynakları şunlardır: • elyaflaştırma ve toplama • keçe oluşumu (iğneleme) • yağlayıcı yanması • hazır ürünün kesilmesi, kenarların düzeltilmesi ve paketlenmesi Havaya ürün kayıplarını en aza indirmek için aşağı akış yönlü proses sistemlerinin inşasının, sızdırmazlığının ve bakımının iyi olması çok önemlidir.	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Torbalı filtre ile birlikte verimli bir ekstraksiyon sistemi kullanılarak vakum altında kesme, düzeltme ve paketlenme Partikül ve lifli salınımları çıkararak bunları bir kumaş filtreye iletmek için çalışma istasyonuna (yani kesme makinesi, ambalajlama için karton kutu) negatif basınç uygulanır	
iii. Kumaş filtre sistemi uygulanması ⁽¹⁾ İlave işlemlerden (örn. elyaflaştırma, keçe oluşturma, yağlayıcı yakma) salınan atık gazlar, torbalı filtreden oluşan bir arıtma sistemine iletilir	
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.1 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.55: HTIW sektöründeki ilave tozlu işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak artıldığı durumlar için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES mg/Nm ³
Toz ⁽¹⁾	1-5
⁽¹⁾ * Aralığın düşük değerleri, alüminyum silikat cam yünü/refrakter seramik elyaf (ASW/RCF) emisyonlarını ifade eder.	

5.8.2 ErgitErgitme ve ilave işlemlerden salınan azot oksitler (NO_x)

66. MET, yanma kontrolü ve/veya modifikasyonları uygulanması yoluyla yağlayıcı yakma fırınından kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmaktır.

Teknik	Uygulanabilirlik
Yakma kontrolü ve/veya modifikasyonları Termal NO_x emisyonlarının oluşumunu azaltma teknikleri, temel yakma parametrelerinin kontrolünü içerir: - hava/yakıt oranı (reaksiyon bölgesindeki oksijen içeriği) - alev sıcaklığı - yüksek sıcaklıklı alanda kalma süresi. İyi bir yakma kontrolü, NO_x oluşumu için en az uygun olan koşulların oluşturulması ile sağlanır	Teknik genel olarak uygulanabilir

Tablo 5.56: HTIW sektöründe yağlayıcı yakma fırınından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES mg/Nm ³
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Yakma kontrolü ve/veya modifikasyonları	100 - 200

5.8.3 ErgitErgitme ve ilave işlemlerden salınan kükürt oksitler (SO_x)

67. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından ve ilave işlemlerden çıkan SO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük kükürt içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak hammaddelerin mevcudiyetine dair kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir
ii. Düşük kükürt içerikli yakıt kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.3 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.57: HTIW sektöründeki ergitergitme fırınlarından ve ilave süreçlerden kaynaklanan SO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	MET-İES mg/Nm ³
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	Birincil teknikler	<50

5.8.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

68. MET, düşük klor ve flor içerikli harman reçetesine uygun hammadde seçimiyle ergitergitme fırınından salınan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.4'te verilmiştir.	

Tablo 5.58: HTIW sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES
	mg/Nm ³
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	<10
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<5

5.8.5 ErgitErgitme fırınlarından ve ilave proseslerden salınan metaller

69. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından ve/veya ilave işlemlerden çıkan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Bir filtreleme sisteminin kullanılması	
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.5'te verilmiştir.	

Tablo 5.59: HTIW sektöründeki ergitergitme fırınlarından ve/veya ilave süreçlerden kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ⁽¹⁾
	mg/Nm ³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5
⁽¹⁾ Seviyeler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.	

5.8.6 İlave işlemlerden kaynaklanan uçucu organik bileşikler

70. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçının uygulanması yoluyla yağlayıcı yakma fırınından salınan uçucu organik bileşik (UOB) emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾		Uygulanabilirlik
i.	İlgili CO emisyonlarının izlenmesi de dâhil olmak üzere yakma kontrolü. Teknik, atık gazdaki organik bileşenlerin (yani polietilen glikol) tamamen yakılmasını sağlamak için yakma parametrelerinin (örn. reaksiyon bölgesindeki oksijen içeriği, alev sıcaklığı) kontrolünden oluşur. Karbon monoksit emisyonlarının izlenmesi, yanmamış organik malzemelerin varlığının kontrol edilmesini sağlar	Teknik genel olarak uygulanabilir
ii.	Atık gaz yakma	Ekonomik uygulanabilirlik, düşük atık gaz hacimleri ve UOB konsantrasyonları nedeniyle bu tekniklerin uygulanabilirliğini sınırlandırabilir.
iii.	Islak yıkayıcılar	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.6 ve 5.10.9 kısımlarında verilmiştir.		

Tablo 5.60: HTIW sektöründe yağlayıcı yakma fırınından kaynaklanan UOB emisyonlarının ayrı olarak arıtıldığı durumlar için MET-İES’ler

Parametre	MET	MET-İES mg/Nm ³
C olarak ifade edilen uçucu organik bileşikler	Birincil ve/veya ikincil teknikler	10 - 20

5.9 Frit imalatı için MET sonuçları

Aksi belirtilmedikçe, bu bölümde sunulan MET sonuçları tüm frit tesislerine uygulanabilir.

5.9.1 ErgitErgitme fırınlarından salınan toz emisyonları

71. MET, elektrostatik toz tutucu veya torbalı filtre sistemi kullanılarak ergitergitme fırınının atık gazlarından kaynaklanan toz emisyonlarının azaltılmasıdır.

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
Filtreleme sistemi: elektrostatik toz tutucu veya torba filtre	Teknik genel olarak uygulanabilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.1 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.61: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan toz emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
Toz	<10 - 20	<0,05 - 0,15
⁽¹⁾ MET-İES aralığının alt ve üst uç değerlerinin belirlenmesi için 5×10^{-3} and $7,5 \times 10^{-3}$ lük çevrim katsayıları kullanılmıştır (bkz. Tablo 5.2). Ancak, yakma tipine bağlı olarak duruma özel bir çevrim katsayısı uygulanması gerekebilir.		

5.9.2 ErgitErgitme fırınlarından çıkan azot oksitler (NO_x)

72. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan NO_x emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi Nitratlar, frit üretiminde gerekli özellikleri elde etmek için birçok ürünün harman reçetesinde yer alır.	Harman reçetesinde nitratların ikamesi, alternatif malzemelerin yüksek maliyetleri ve/veya daha yüksek çevresel etkileri ve/veya nihai ürünün kalite gereksinimleri ile sınırlı olabilir
ii. Fırına giren parazit havanın azaltılması Teknik, bek taşlarının, harman malzeme besleyicisinin ve ergitergitme fırınının diğer herhangi bir açıklığının hava geçirmezliğinin sağlanmasıyla fırına hava girmesini önlemekten oluşur.	Teknik genel olarak uygulanabilir
iii. Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Hava/yakıtlı geleneksel fırınlara uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlanır.
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Daha düşük fırın verimliliği ve daha yüksek yakıt talebi nedeniyle, yalnızca tesise özel koşullar altında geçerlidir
(c) Kademeli yakma: o Hava kademelendirme o Yakıt kademelendirme	Yakıt kademelendirme, geleneksel hava/yakıt fırınların çoğuna uygulanabilir. Hava kademelendirmenin uygulanabilirliği, teknik karmaşıklığı nedeniyle çok sınırlıdır

(d)	Baca gazı devridaimi	Bu tekniğin uygulanabilirliği, atık gazın otomatik olarak devridaim edildiği özel brülörlerin kullanımı ile sınırlıdır
(e)	Düşük NO _x brülörleri	Teknik genel olarak uygulanabilir. Optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birlikte, normal veya komple fırın yenilemede tam fayda sağlar.
(f)	Yakıt seçimi	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek farklı yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlıdır.
iv.	Oksi-fuel ergitme	Maksimum çevresel faydalar, fırının komple yenilenmesi sırasındaki uygulamalar ile elde edilir
⁽¹⁾ Tekniğin açıklaması 5.10.2 kısmında verilmiştir.		

Tablo 5.62: Frit sektöründe kullanılan ergitme fırınlarından kaynaklanan NO_x emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET	İşletim koşulları	MET-İES ⁽¹⁾	
			mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
NO ₂ olarak ifade edilen NO _x	Birincil teknikler	Oksi-fuel ateşleme, nitrat kullanımı olmaksızın ⁽³⁾	Uygulanamaz	<2,5 - 5
		Oksi-fuel ateşleme, nitrat kullanımıyla	Uygulanamaz	5 - 10
		yakıt/hava, yakıt/oksijenle zenginleştirilmiş hava yanması, nitrat kullanımı olmaksızın	500 - 1000	2,5 - 7,5
		yakıt/hava, yakıt/oksijenle zenginleştirilmiş hava yanması, nitrat kullanımı ile	<1600	<12

⁽¹⁾ Aralıklar, farklı ergitme teknikleri uygulayan ve harman reçetelerinde nitrat bulunan veya bulunmayan çeşitli frit türleri üreten fırınlardan gelen ve tek bir bacaya iletilebilen baca gazlarının birleştirilmesini hesaba katar ve uygulanan ergitme teknikleri ve üretilen farklı ürünlerin her birini karakterize etme olasılığını ortadan kaldırır.

⁽²⁾ Aralığın alt ve üst değerlerinin belirlenmesi için 5×10^{-3} ve $7,5 \times 10^{-3}$ lük çevirim katsayıları kullanılmıştır. Ancak, yakma türüne bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir (bkz. Tablo 5.2).

⁽³⁾ Ulaşılabılır seviyeler, mevcut doğal gazın ve oksijenin kalitesine (azot içeriği) bağlıdır.

5.9.3 ErgitErgitme fırınlarından çıkan kükürt oksitler (SO_x)

73. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitme fırınlarından çıkan SO_x emisyonlarını kontrol altına almaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük kükürt içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak hammaddelerin mevcudiyetine dair kısıtlamalar dahilinde uygulanabilir
ii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
iii. Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Uygulanabilirlik, söz konusu Üye Devletin enerji politikasından etkilenebilecek düşük kükürtlü yakıt türlerinin kullanılabilirliği ile ilgili kısıtlamalarla sınırlı olabilir
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması 5.10.3 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.63: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan SOX emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
SO ₂ olarak ifade edilen SO _x	<50 - 200	<0,25 - 1,5
(1) 5 x 10 ⁻³ ve 7,5 x 10 ⁻³ lük çevirim katsayıları kullanılmıştır; ancak, tabloda belirtilen değerler yaklaşık olarak alınmış olabilir. Yakma türüne bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir (bkz. Tablo 5.2).		

5.9.4 ErgitErgitme fırınlarından salınan hidrojen klorür (HCl) ve hidrojen florür (HF)

74. MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak ergitergitme fırınlarından çıkan HCl ve HF emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik (1)	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak harman reçetesinin kısıtlamaları ve hammaddelerin mevcudiyeti dahilinde uygulanabilir
ii. Nihai ürünün kalitesini sağlamak için kullanılan, harman reçetesindeki flor bileşiklerinin en aza indirilmesi Flor bileşikleri, fritlere birtakım özellikler (yani termal ve kimyasal direnç) kazandırmak için kullanılır	Flor bileşiklerinin kullanımının en aza indirilmesi veya alternatif malzemelerle ikame edilmesi, ürünün kalite gereklilikleriyle sınırlıdır
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Teknik genel olarak uygulanabilir
(1) Tekniklerin bir açıklaması 5.10.4 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.64: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan HCl ve HF emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽¹⁾
HCl olarak ifade edilen hidrojen klorür	<10	<0,05
HF olarak ifade edilen hidrojen florür	<5	<0,03
(1) Yaklaşık olarak alınan bazı değerler ile, 5 x 10 ⁻³ lük çevirim katsayısı kullanılmıştır. Yakma türüne bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir (bkz. Tablo 5.2).		

5.9.5 ErgitErgitme fırınlarından salınan metaller

75. MET, aşağıdaki tekniklerden birinin veya birkaçının kullanılması yoluyla ergitergitme fırınından kaynaklanan metal emisyonlarını azaltmaktır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Teknik, genel olarak tesiste üretilen frit tipine ilişkin kısıtlamalar ve hammaddelerin mevcudiyeti dahilinde uygulanabilir
ii. Renklendirmenin gerekli olduğu veya fritlere diğer spesifik özelliklerin verildiği yerlerde metal bileşiklerinin kullanımının en aza indirilmesi	Teknikler genel olarak uygulanabilir
iii. Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	
⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması, belgenin 5.10.5 kısmında verilmiştir.	

Tablo 5.65: Frit sektöründe kullanılan ergitergitme fırınlarından kaynaklanan metal emisyonları için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/ton erimiş cam ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1	<7,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5	<37 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Seviyeler, baca gazlarında hem katı hem de gaz fazlarında bulunan metallerin toplamını ifade eder.

⁽²⁾ 7,5 x 10⁻³ lük dönüştürme faktörü kullanılmıştır. Yakma türüne bağlı olarak duruma özel bir çevirim katsayısının uygulanması gerekebilir (bkz. Tablo 5.2).

5.9.6 İlave işlemlerden kaynaklanan emisyonlar

76. İlave tozlu prosesler için MET, aşağıdaki tekniklerden birini veya birkaçını kullanarak emisyonların azaltılmasıdır:

Teknik ⁽¹⁾	Uygulanabilirlik
i. Yaş frezeleme tekniklerinin uygulanması Teknik, bir bulamaç oluşturmak için yeterli sıvı ile fritin istenen parçacık boyutu dağılımına getirilmek üzere öğütülmesini içerir. İşlem genellikle alümina bilyalı değirmenlerde su ile gerçekleştirilir	Teknikler genel olarak uygulanabilir
ii. Torba filtre ile birlikte verimli bir ekstraksiyon sisteminin kullanımıyla kuru frezeleme ve kuru ürün paketleme Toz emisyonlarını bir kumaş filtreye iletmek için, frezeleme ekipmanına veya paketlemenin yapıldığı çalışma istasyonuna negatif basınç uygulanır.	
iii. Bir filtreleme sisteminin kullanılması	

⁽¹⁾ Tekniklerin bir açıklaması belgenin 5.10.1 kısmında verilmiştir.

Tablo 5.66: Frit sektöründeki ilave işlemlerden çıkan emisyonların ayrı olarak artıldığı durumlar için MET-İES'ler

Parametre	MET-İES mg/Nm ³
Toz	5 - 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1 ⁽¹⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Seviyeler, atık gazda bulunan metallerin toplamı içindir.

Terimler Sözlüğü:

5.10 Tekniklerin tanımı

5.10.1 Toz emisyonları

Teknik	Açıklama
Elektrostatik toz tutucu	Elektrostatik toz tutucular, parçacıkların bir elektrik alanının etkisi altında yüklenerek ayrılmasını sağlayacak şekilde çalışır. Elektrostatik çökticiler, çok çeşitli koşullarda çalışabilir
Torbalı filtre	Torbalı filtreler, gazların partikülleri gidermek için geçirildiği gözenekli dokuma veya keçeli kumaştan yapılır. Torbalı filtre kullanımı, atık gazların özelliklerine ve maksimum çalışma sıcaklığına uygun kumaş malzeme seçimini gerektirir
Hammadde modifikasyonları ile uçucu bileşenlerin azaltılması	Harman bileşimlerinin reçeteleri, en aza indirilebilecek veya esas olarak uçuculaşma olayı ile meydana gelen toz emisyonlarını azaltmak için ikame edilebilecek çok uçucu bileşenleri (örn. bor bileşikleri) içerebilir
Elektrikli ergitme	Teknik, enerjinin dirençli ısıtma ile sağlandığı bir ergitme fırını içerir. Soğuk tepeli fırınlarda (elektrotların genellikle fırının alt kısmına yerleştirildiği fırınlar), harman örtüsü eriyiğin yüzeyini kaplar ve bunun sonucunda harman bileşenlerinin (yani kurşun bileşikleri) uçuculuğunun önemli ölçüde azalması sağlanır.

5.10.2 NO_x emisyonları

Teknik	Açıklama
Yakma modifikasyonları	
i. Hava/yakıt oranının azaltılması	Teknik esas olarak aşağıdaki özellikleri temel alır: - fırına hava sızıntılarının en aza indirilmesi - yanma için kullanılan havanın dikkatli kontrolü - fırının yanma odasının değiştirilmiş tasarımı
ii. Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Rejeneratif fırınların yerine reküperatif fırınların kullanılması, hava ön ısıtma sıcaklığının düşmesini ve dolayısıyla daha düşük alev sıcaklığını sağlar. Ancak bu, daha düşük fırın verimliliği (daha düşük özgül çekiş), düşük yakıt verimliliği ve potansiyel olarak daha yüksek emisyonlara (kg/ton cam) neden olan yüksek yakıt talebi ile ilişkilidir.
iii. Kademeli yakma	- Hava kademelendirmede, stokiometrik altı ateşleme ve ardından yanmayı tamamlamak üzere kalan havayı veya oksijeni fırına ekleme işlemleri gerçekleştirilir. - Yakıt kademelendirmesi - portnün boyun kısmında düşük güçlü birincil alev gelişir (toplam enerjinin %10'u); ikincil bir alev, birincil alevin kökünü kaplar ve çekirdek sıcaklığını düşürür
iv. Baca gazı devridaimi	Oksijen içeriğini ve dolayısıyla alevin sıcaklığını azaltmak için fırından çıkan atık gazın, aleve yeniden enjekte edilmesini ifade eder. Özel brülörlerin kullanımı, alevlerin kökünü soğutan ve en sıcak kısımlarındaki oksijen içeriğini azaltan yanma gazlarının dahili devridaimine dayanır.
v. Düşük NO _x brülörleri	Teknik, en yüksek alev sıcaklıklarını düşürme, yanmayı geciktirerek tamamlama ve ısı transferini artırma (alevin yayınlırlığını arttırma) prensiplerine dayanmaktadır. Değiştirilmiş bir fırın yakma odası tasarımı ile ilişkilendirilebilir
vi. Yakıt seçimi	Genel olarak, fuel-oil kullanan fırınlar, daha iyi termal yayınlılık ve daha düşük alev sıcaklıkları nedeniyle gazla çalışan fırınlardan daha düşük NO _x emisyonlarına sahiptir

Özel fırın tasarımı	Daha düşük alev sıcaklıklarına izin veren çeşitli özelliklerin entegre edildiği reküperatif tip fırın. Başlıca özellikleri şunlardır: • özel tip brülörler (sayı ve konum) • fırının değiştirilmiş geometrisi (yükseklik ve boyut) • fırına giren hammaddelerin üzerinden geçen atık gazlar ile iki aşamalı hammadde ön ısıtması ve yanma havasının ön ısıtılması için kullanılan reküperatörün akış aşağı yönünde yabancı cam kırığı ön ısıtıcı
Elektrikli ergitme	Teknik, enerjinin dirençli ısıtma ile sağlandığı bir ergitme fırını içerir. Başlıca özellikleri şunlardır: • elektrotlar genellikle fırının alt kısmına yerleştirilir (soğuk tepeli) • istikrarlı, güvenli ve verimli bir üretim süreci için gerekli oksitleme koşullarını sağlamak için soğuk tepeli elektrikli fırınlarda kullanılan harman bileşiminde genellikle nitratlar gereklidir
Oksi-fuel ergitme	Teknik, yanma havasının oksijen (>90 saflıkta) ile değiştirilmesini ve bunun sonucunda fırına giren azottan kaynaklanan termal NO_x oluşumunun ortadan kaldırılmasını/azaltılmasını içerir. Fırında kalan azot içeriği sağlanan oksijenin saflığına, yakıtın kalitesine (doğal gazdaki N₂ yüzdesine) ve potansiyel hava girişine bağlıdır
Yakıtla kimyasal azaltma	Teknik, atık gazı fosil yakıt enjeksiyonu ile NO_x'in bir dizi reaksiyonla kimyasal olarak N₂'ye indirgenmesine dayanmaktadır. 3R prosesinde yakıt (doğal gaz veya akaryakıt) rejeneratör girişine enjekte edilir. Teknoloji, rejeneratif fırınlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır
Seçici katalitik indirgeme (SCR)	Teknik, 300-450 °C civarındaki optimum işletme sıcaklığında amonyak (genel olarak sulu çözelti) reaksiyonu ile katalitik yatakta, NO_x'in azota indirgenmesini temel alır. Bir veya iki katalizör tabakası uygulanabilir. Daha yüksek miktarlarda katalizör kullanımıyla (iki tabaka) daha yüksek NO_x giderimi elde edilir
Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)	Teknik, NO_x'in yüksek sıcaklıkta amonyak veya üre ile reaksiyona girerek azota indirgenmesini temel alır. Çalışma sıcaklığı 900 °C ile 1050 °C arasında tutulmalıdır.
Harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi	Nitrat kullanımının en aza indirilmesi, çok renksiz (berrak) bir camın istendiği çok yüksek kaliteli ürünler için veya diğer camların gerekli özellikleri sağlaması için oksitleyici bir madde olarak kullanıldığı durumlarda, bu hammaddelerin ayrışmasından kaynaklanan NO_x emisyonlarını azaltmak için kullanılır. Aşağıdaki seçenekler uygulanabilir: • Harman reçetesindeki nitratların ürün ve ergitme gereksinimleriyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi. • Nitratların alternatif malzemelerle ikame edilmesi. Etkili alternatif malzemeler sülfatlar, arsenik oksitler ve seryum oksittir. • Proses modifikasyonlarının (örn. özel oksitleyici yanma koşulları) uygulanması

5.10.3 SO_x emisyonları

Teknik	Açıklama
Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Kuru toz veya alkali reaktifin bir süspansiyonu/çözeltisi, atık gaz akımına dâhil edilir ve dağıtılır. Malzeme, filtreleme (torba filtre veya elektrostatik toz tutucu) ile çıkarılması gereken bir katı oluşturmak üzere, kükürt gazı halindeki türlerle reaksiyona girer. Genel olarak, bir reaksiyon kulesinin kullanılması yıkama sisteminin temizleme verimliliğini artırır
Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi, inceltme malzemesi olarak kullanılan kükürt içeren hammaddelerin (genel olarak sülfatlar) ayrışmasından kaynaklanan SO _x emisyonlarını azaltmak için uygulanır. SO _x emisyonlarının etkin bir şekilde azaltılması, kükürt bileşiklerinin cam tipine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilen camda tutulma özelliğine ve kükürt dengesinin optimizasyonuna bağlıdır
Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	Yanma sırasında yakıtta bulunan kükürtün oksidasyonu ile ortaya çıkan SO _x emisyonlarının miktarını azaltmak için doğalgaz veya düşük kükürtlü fuel oil kullanılır

5.10.4 HCl, HF emisyonları

Teknik	Açıklama
Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Teknik, HCl ve HF'nin ergitme işlemi sırasında ayrışmasından kaynaklanan emisyonlarını kaynağında azaltmak için safsızlık olarak klorür ve florür (örn. sentetik soda külü, dolomit, yabancı cam kırıntıları, geri dönüştürülmüş filtre tozu) içerebilen hammaddelerin dikkatli şekilde seçilmesini içerir.
Harman reçetesinde flor ve/veya klor bileşiklerinin en aza indirilmesi ve flor ve/veya klor kütle dengesinin optimizasyonu	Ergitme işleminden kaynaklanan flor ve/veya klor emisyonlarının en aza indirilmesi, bu maddelerin harman reçetesinde kullanılan bileşiklerinin miktarının nihai ürünün kalitesiyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi/azaltılması ile sağlanabilir. Flor bileşikleri (örn. flüspat, florsilikat), özel camlara (yani opak camı, optik cam) belirli özellikler kazandırmak için kullanılır. İnceltme maddeleri olarak klor bileşikleri kullanılabilir
Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Kuru toz veya alkali reaktifin bir süspansiyonu/çözeltisi, atık gaz akımına dâhil edilir ve dağıtılır. Malzeme, gaz halindeki klorürler ve florürler ile reaksiyona girerek filtreleme yoluyla (elektrostatik toz tutucu veya torba filtre) çıkarılması gereken bir katı oluşturur

5.10.5 Metal emisyonları

Teknik	Açıklama
Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Teknik, ergitme işlemi sırasında bu malzemelerin ayrışmasından kaynaklanan metal emisyonlarını kaynağında azaltmak amacıyla, safsızlık olarak metaller (örn. yabancı kırıntılar) içerebilecek yığın malzemelerinin dikkatli bir seçiminden oluşur.
Tüketicinin cam kalitesi gereksinimlerine bağlı olarak camın renklendirilmesi ve renksizleştirilmesinin gerekli olduğu harman reçetesinde metal bileşiklerin kullanımının en aza indirilmesi	Ergitme işleminden kaynaklanan metal emisyonlarının en aza indirilmesi şu şekilde sağlanabilir: • renkli camların üretiminde harman reçetesindeki metal bileşiklerinin (örneğin demir, krom, kobalt, bakır, manganez bileşikleri) miktarının en aza indirilmesi • şeffaf cam üretiminde renk giderici olarak kullanılan selenyum bileşiklerinin ve seryum oksit miktarının en aza indirilmesi

Uygun hammadde seçimiyle harman reçetesinde selenyum bileşiği kullanımının en aza indirilmesi	ErgitErgitme işleminden kaynaklanan selenyum emisyonlarının en aza indirilmesi şu şekilde sağlanabilir: - harman reçetesindeki selenyum miktarının ürün gereksinimleriyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi - ergitergitme işlemi sırasında uçuculuğu azaltmak için, daha düşük uçuculuğa sahip selenyum hammaddelerinin seçilmesi
Bir filtreleme sisteminin uygulanması	Cam ergitergitme işlemlerinden kaynaklanan metallerin hava emisyonları büyük ölçüde partikül halinde bulunduğundan, toz azaltma sistemleri (torbalı filtre ve elektrostatik toz tutucu) hem toz hem de metal emisyonlarını azaltabilir. Bununla birlikte, son derece uçucu bileşikler (örneğin selenyum) oluşturan bazı metaller için, giderme verimliliği, filtreleme sıcaklığına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir
Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Gaz halindeki metaller, alkali bir reaktif ile kuru veya yarı-kuru yıkama tekniğinin kullanılmasıyla büyük ölçüde azaltılabilir. Alkali reaktif, filtreleme (torba filtre veya elektrostatik toz tutucu) ile çıkarılması gereken bir katı oluşturmak üzere, gaz halindeki türlerle reaksiyona girer.

5.10.6 Kombine gaz emisyonları (örn. SO_x, HCl, HF, bor bileşikleri)

Teknik	Açıklama
Yaş yıkama	Yaş yıkama işleminde gaz halindeki bileşikler uygun bir sıvı (su veya alkali çözelti) içinde çözündürülür. Yaş gaz yıkayıcının akış aşağı yönünde, baca gazları suyla doyurulur ve baca gazlarını boşaltmadan önce damlacıkların ayrılması gerekir. Ortaya çıkan sıvı, bir atık su işlemi ile arıtılmalı ve çözünmeyen madde, çökeltme veya filtreleme yoluyla toplanmalıdır

5.10.7 Kombine emisyonlar (katı + gaz)

Teknik	Açıklama
Yaş yıkama	Bir ıslak temizleme işleminde (uygun bir sıvı ile; su veya alkalili çözelti), katı ve gaz halindeki bileşiklerin aynı anda giderilmesi sağlanabilir. Partikül veya gaz giderme için tasarım kriterleri farklıdır; bu nedenle tasarım genellikle iki seçenek arasında bir uzlaşmayı gerektirir. Ortaya çıkan sıvının bir atık su prosesi ile arıtılması gerekir ve çözünmeyen madde (katı emisyonlar ve kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan ürünler) çökeltme veya filtreleme yoluyla toplanır. Maden pamuğu ve kesintisiz cam elyaf sektöründe uygulanan en yaygın sistemler şunlardır: - yukarı akış yönünde darbeli jetler ile dolgu yataklı yıkayıcılar - venturi yıkayıcılar
Yaş elektrostatik toz tutucular	Teknik, toplanan malzemenin uygun bir sıvıyla, genellikle su ile yıkanarak toplayıcıların plakalarından çıkarıldığı bir elektrostatik toz tutucuyu içerir. Atık gazın boşaltılmasından önce su damlacıklarını gidermek için genellikle bazı mekanizmalar kurulur (buğu çözücü veya son kuru alan).

5.10.8 Kesme, frezeleme, cilalama işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar

Teknik	Açıklama
Tozlu işlemlerin (örneğin kesme, frezeleme, parlatma) sıvı altında gerçekleştirilmesi	Su genellikle kesme, frezeleme ve cilalama işlemlerinde ve toz emisyonlarının önlenmesinde, soğutucu olarak kullanılır. Buğu giderici ile donatılmış bir ekstraksiyon sistemi gerekli olabilir
Torbalı filtre sistemi uygulanması	İlave proseslerden çıkan metaller büyük ölçüde partikül halinde bulunduğu için, hem toz hem de metal emisyonlarının azaltılması için torbalı filtrelerin kullanımı uygundur.
Uygulama sisteminin sızdırmazlığını sağlayarak cila ürünlerinin kayıplarının en aza indirilmesi	Asitle parlatma, cam eşyaların hidroflorik ve sülfürik asitlerden oluşan bir parlatma banyosuna daldırılmasıyla gerçekleştirilir. Kayıpları en aza indirmek için uygulama sisteminin iyi tasarımı ve bakımı ile duman salınımı en aza indirilebilir
Yaş yıkama gibi ikincil bir tekniğin uygulanması	Emisyonların asidik yapısı ve uzaklaştırılacak gaz halindeki kirlleticilerin yüksek çözünürlüğü nedeniyle, atık gazların arıtılması için su ile yaş yıkama uygulanır

5.10.9 H₂S, UOB emisyonları

Teknik	Açıklama
Atık gaz yakma	Teknik, hidrojen sülfürü (ergitme fırınındaki güçlü indirgeme koşulları ile üretilen) kükürt dioksit ve karbon monoksiti karbon dioksit oksitleyen bir art yakıcı sistemini içerir. Uçucu organik bileşikler, termal olarak yakılarak karbon dioksit, su ve diğer yanma ürünlerine (örn. NO_x, SO_x) oksitlenir.

5.10.10 Toz emisyonları

Teknik	Açıklama
Elektrostatik toz tutucu	Elektrostatik toz tutucular, parçacıkların bir elektrik alanının etkisi altında yüklenerek ayrılmasını sağlayacak şekilde çalışır. Elektrostatik çöktiriciler, çok çeşitli koşullarda çalışabilir
Torbalı filtre	Torbalı filtreler, gazların partikülleri gidermek için geçirildiği gözenekli dokuma veya keçeli kumaştan yapılır. Torbalı filtre kullanımı, atık gazların özelliklerine ve maksimum çalışma sıcaklığına uygun kumaş malzeme seçimini gerektirir
Hammadde modifikasyonları ile uçucu bileşenlerin azaltılması	Harman bileşimlerinin reçeteleri, en aza indirilebilecek veya esas olarak uçuculaşma olayı ile meydana gelen toz emisyonlarını azaltmak için ikame edilebilecek çok uçucu bileşenleri (örn. bor bileşikleri) içerebilir
Elektrikli ergitergitme	Teknik, enerjinin dirençli ısıtma ile sağlandığı bir ergitergitme fırınına içerir. Soğuk tepeli fırınlarda (elektrotların genellikle fırının alt kısmına yerleştirildiği fırınlar), harman örtüsü eriyiğin yüzeyini kaplar ve bunun sonucunda harman bileşenlerinin (yani kurşun bileşikleri) uçuculuğunun önemli ölçüde azalması sağlanır.

5.10.11 NO_x emisyonları

Teknik	Açıklama
Yakma modifikasyonları	
(a) Hava/yakıt oranının azaltılması	Teknik esas olarak aşağıdaki özellikleri temel alır: - fırına hava sızıntılarının en aza indirilmesi - yanma için kullanılan havanın dikkatli kontrolü - fırının yanma odasının değiştirilmiş tasarımı
(b) Azaltılmış yanma havası sıcaklığı	Rejeneratif fırınların yerine reküperatif fırınların kullanılması, hava ön ısıtma sıcaklığının düşmesini ve dolayısıyla daha düşük alev sıcaklığını sağlar. Ancak bu, daha düşük fırın verimliliği (daha düşük özgül çekiş), düşük yakıt verimliliği ve potansiyel olarak daha yüksek emisyonlara (kg/ton cam) neden olan yüksek yakıt talebi ile ilişkilidir.
(c) Kademeli yakma	- Hava kademelendirmede, stokiometrik altı ateşleme ve ardından yanmayı tamamlamak üzere kalan havayı veya oksijeni fırına ekleme işlemleri gerçekleştirilir. - Yakıt kademelendirmesi - portun boyun kısmında düşük güçlü birincil alev gelişir (toplam enerjinin %10'u); ikincil bir alev, birincil alevin kökünü kaplar ve çekirdek sıcaklığını düşürür
(d) Baca gazı devridaimi	Oksijen içeriğini ve dolayısıyla alevin sıcaklığını azaltmak için fırından çıkan atık gazın, aleve yeniden enjekte edilmesini ifade eder. Özel brülörlerin kullanımı, alevlerin kökünü soğutan ve en sıcak kısımlarındaki oksijen içeriğini azaltan yanma gazlarının dahili devridaimine dayanır.
(e) Düşük NO _x brülörleri	Teknik, en yüksek alev sıcaklıklarını düşürme, yanmayı geciktirerek tamamlama ve ısı transferini artırma (alevin yayınlığını artırma) prensiplerine dayanmaktadır. Değiştirilmiş bir fırın yakma odası tasarımı ile ilişkilendirilebilir
(f) Yakıt seçimi	Genel olarak, fuel-oil kullanan fırınlar, daha iyi termal yayınlılık ve daha düşük alev sıcaklıkları nedeniyle gazla çalışan fırınlardan daha düşük NO _x emisyonlarına sahiptir
Özel fırın tasarımı	Daha düşük alev sıcaklıklarına izin veren çeşitli özelliklerin entegre edildiği reküperatif tip fırın. Başlıca özellikleri şunlardır: - özel tip brülörler (sayı ve konum) - fırının değiştirilmiş geometrisi (yükseklik ve boyut) - fırına giren hammaddelerin üzerinden geçen atık gazlar ile iki aşamalı hammadde ön ısıtması ve yanma havasının ön ısıtılması için kullanılan reküperatörün akış aşağı yönünde yabancı cam kırığı ön ısıtıcı
Elektrikli ergitme	Teknik, enerjinin dirençli ısıtma ile sağlandığı bir ergitme fırını içerir. Başlıca özellikleri şunlardır: - elektrotlar genellikle fırının alt kısmına yerleştirilir (soğuk tepeli) - istikrarlı, güvenli ve verimli bir üretim süreci için gerekli oksitleme koşullarını sağlamak için soğuk tepeli elektrikli fırınlarda kullanılan harman bileşiminde genellikle nitratlar gereklidir
Oksi-fuel ergitme	Teknik, yanma havasının oksijen (>%90 saflıkta) ile değiştirilmesini ve bunun sonucunda fırına giren azottan kaynaklanan termal NO _x oluşumunun ortadan kaldırılmasını/azaltılmasını içerir. Fırında kalan azot içeriği sağlanan oksijenin saflığına, yakıtın kalitesine (doğal gazdaki N ₂ yüzdesine) ve potansiyel hava girişine bağlıdır
Yakıtla kimyasal azaltma	Teknik, atık gazı fosil yakıt enjeksiyonu ile NO _x 'in bir dizi reaksiyonla kimyasal olarak N ₂ 'ye indirgenmesine dayanmaktadır. 3R prosesinde yakıt (doğal gaz veya akaryakıt) rejeneratör girişine enjekte edilir. Teknoloji, rejeneratif fırınlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır
Seçici katalitik indirgeme (SCR)	Teknik, 300-450°C civarındaki optimum işletme sıcaklığında amonyak (genel olarak sulu çözelti) reaksiyonu ile katalitik yatakta, NO _x 'in azota indirgenmesini temel alır. Bir veya iki katalizör tabakası uygulanabilir. Daha yüksek miktarlarda katalizör kullanımıyla (iki tabaka) daha yüksek NO _x giderimi elde edilir
Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR)	Teknik, NO _x 'in yüksek sıcaklıkta amonyak veya üre ile reaksiyona girerek azota indirgenmesini temel alır. Çalışma sıcaklığı 900 °C ile 1050 °C arasında tutulmalıdır.
Harman reçetesinde nitrat kullanımının en aza indirilmesi	Nitrat kullanımının en aza indirilmesi, çok renksiz (berrak) bir camın istendiği çok yüksek kaliteli ürünler için veya diğer camların gerekli özellikleri sağlaması için oksitleyici bir madde olarak kullanıldığı durumlarda, bu hammaddelerin ayrışmasından kaynaklanan NO _x emisyonlarını azaltmak için kullanılır. Aşağıdaki seçenekler uygulanabilir: - Harman reçetesindeki nitratların ürün ve ergitme gereksinimleriyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi. - Nitratların alternatif malzemelerle ikame edilmesi. Etkili alternatif malzemeler sülfatlar, arsenik oksitler ve seryum oksittir. - Proses modifikasyonlarının (örn. özel oksitleyici yanma koşulları) uygulanması

5.10.12 SO_x emisyonları

Teknik	Açıklama
Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Kuru toz veya alkali reaktifin bir süspansiyonu/çözeltilisi, atık gaz akımına dâhil edilir ve dağıtılır. Malzeme, filtreleme (torba filtre veya elektrostatik toz tutucu) ile çıkarılması gereken bir katı oluşturmak üzere, kükürt gazı halindeki türlerle reaksiyona girer. Genel olarak, bir reaksiyon kulesinin kullanılması yıkama sisteminin temizleme verimliliğini artırır
Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi ve kükürt dengesinin optimizasyonu	Harman reçetesindeki kükürt içeriğinin en aza indirilmesi, inceltme malzemesi olarak kullanılan kükürt içeren hammaddelerin (genel olarak sülfatlar) ayrışmasından kaynaklanan SO _x emisyonlarını azaltmak için uygulanır.
Düşük kükürt içerikli yakıtların kullanımı	SO _x emisyonlarının etkin bir şekilde azaltılması, kükürt bileşiklerinin cam tipine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilen camda tutulma özelliğine ve kükürt dengesinin optimizasyonuna bağlıdır
	Yanma sırasında yakıtta bulunan kükürtün oksidasyonu ile ortaya çıkan SO _x emisyonlarının miktarını azaltmak için doğalgaz veya düşük kükürtlü fuel oil kullanılır

5.10.13 HCl, HF emisyonları

Teknik	Açıklama
Harman reçetesinde düşük klor ve flor içerikli hammadde seçimi	Teknik, HCl ve HF'nin ergitme işlemi sırasında ayrışmasından kaynaklanan emisyonlarını kaynağında azaltmak için safsızlık olarak klorür ve florür (örn. sentetik soda külü, dolomit, yabancı cam kırıntıları, geri dönüştürülmüş filtre tozu) içerebilen hammaddelerin dikkatli şekilde seçilmesini içerir.
Harman reçetesinde flor ve/veya klor bileşiklerinin en aza indirilmesi ve flor ve/veya klor kütle dengesinin optimizasyonu	Ergitme işleminden kaynaklanan flor ve/veya klor emisyonlarının en aza indirilmesi, bu maddelerin harman reçetesinde kullanılan bileşiklerinin miktarının nihai ürünün kalitesiyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi/azaltılması ile sağlanabilir. Flor bileşikleri (örn. flüspat, florsilikat), özel camlara (yani opak camı, optik cam) belirli özellikler kazandırmak için kullanılır. inceltme maddeleri olarak klor bileşikleri kullanılabilir
Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Kuru toz veya alkali reaktifin bir süspansiyonu/çözeltilisi, atık gaz akımına dâhil edilir ve dağıtılır. Malzeme, gaz halindeki klorürler ve florürler ile reaksiyona girerek filtreleme yoluyla (elektrostatik toz tutucu veya torba filtre) çıkarılması gereken bir katı oluşturur

5.10.14 Metal emisyonları

Teknik	Açıklama
Harman reçetesinde düşük metal içerikli hammadde seçimi	Teknik, ergitme işlemi sırasında bu malzemelerin ayrışmasından kaynaklanan metal emisyonlarını kaynağında azaltmak amacıyla, safsızlık olarak metaller (örn. yabancı kırıntılar) içerebilecek yığın malzemelerinin dikkatli bir seçiminden oluşur.
Tüketicinin cam kalitesi gereksinimlerine bağlı olarak camın renklendirilmesi ve renksizleştirilmesinin gerekli olduğu harman reçetesinde metal bileşiklerin kullanımının en aza indirilmesi	Ergitme işleminden kaynaklanan metal emisyonlarının en aza indirilmesi şu şekilde sağlanabilir: • renkli camların üretiminde harman reçetesindeki metal bileşiklerinin (örneğin demir, krom, kobalt, bakır, mangan bileşikleri) miktarının en aza indirilmesi • şeffaf cam üretiminde renk giderici olarak kullanılan selenyum bileşiklerinin ve seryum oksit miktarının en aza indirilmesi

Uygun hammadde seçimiyle harman reçetesinde selenyum bileşiği kullanımının en aza indirilmesi	Ergitme işleminden kaynaklanan selenyum emisyonlarının en aza indirilmesi şu şekilde sağlanabilir: • harman reçetesindeki selenyum miktarının ürün gereksinimleriyle orantılı olarak minimum düzeye indirilmesi • ergitme işlemi sırasında uçuculuğu azaltmak için, daha düşük uçuculuğa sahip selenyum hammaddelerinin seçilmesi
Bir filtreleme sisteminin uygulanması	Cam ergitme işlemlerinden kaynaklanan metallerin hava emisyonları büyük ölçüde partikül halinde bulunduğundan, toz azaltma sistemleri (torbalı filtre ve elektrostatik toz tutucu) hem toz hem de metal emisyonlarını azaltabilir. Bununla birlikte, son derece uçucu bileşikler (örneğin selenyum) oluşturan bazı metaller için, giderme verimliliği, filtreleme sıcaklığına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir
Filtreleme sistemi ile birlikte, kuru veya yarı kuru yıkamanın uygulanması	Gaz halindeki metaller, alkali bir reaktif ile kuru veya yarı-kuru yıkama tekniğinin kullanılmasıyla büyük ölçüde azaltılabilir. Alkali reaktif, filtreleme (torba filtre veya elektrostatik toz tutucu) ile çıkarılması gereken bir katı oluşturmak üzere, gaz halindeki türlerle reaksiyona girer.

5.10.15 Kombine gaz emisyonları (örn. SO_x, HCl, HF, bor bileşikleri)

Teknik	Açıklama
Yaş yıkama	Yaş yıkama işleminde gaz halindeki bileşikler uygun bir sıvı (su veya alkali çözelti) içinde çözündürülür. Yaş gaz yıkayıcının akış aşağı yönünde, baca gazları suyla doyurulur ve baca gazlarını boşaltmadan önce damlacıkların ayrılması gerekir. Ortaya çıkan sıvı, bir atık su işlemi ile arıtılmalı ve çözünmeyen madde, çöktürme veya filtreleme yoluyla toplanmalıdır

5.10.16 Kombine emisyonlar (katı + gaz)

Teknik	Açıklama
Yaş yıkama	Bir ıslak temizleme işleminde (uygun bir sıvı ile; su veya alkalili çözelti), katı ve gaz halindeki bileşiklerin aynı anda giderilmesi sağlanabilir. Partikül veya gaz giderme için tasarım kriterleri farklıdır; bu nedenle tasarım genellikle iki seçenek arasında bir uzlaşmayı gerektirir. Ortaya çıkan sıvının bir atık su prosesi ile arıtılması gerekir ve çözünmeyen madde (katı emisyonlar ve kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanan ürünler) çöktürme veya filtreleme yoluyla toplanır. Maden pamuğu ve kesintisiz cam elyaf sektöründe uygulanan en yaygın sistemler şunlardır: • yukarı akış yönünde darbeli jetler ile dolgu yataklı yıkayıcılar • venturi yıkayıcılar
Yaş elektrostatik toz tutucular	Teknik, toplanan malzemenin uygun bir sıvıyla, genellikle su ile yıkanarak toplayıcıların plakalarından çıkarıldığı bir elektrostatik toz tutucuyu içerir. Atık gazın boşaltılmasından önce su damlacıklarını gidermek için genellikle bazı mekanizmalar kurulur (buğu çözücü veya son kuru alan).

5.10.17 Kesme, frezeleme, cilalama işlemlerinden kaynaklanan emisyonlar

Teknik	Açıklama
Tozlu işlemlerin (örneğin kesme, frezeleme, parlatma) sıvı altında gerçekleştirilmesi	Su genellikle kesme, frezeleme ve cilalama işlemlerinde ve toz emisyonlarının önlenmesinde, soğutucu olarak kullanılır. Buğu giderici ile donatılmış bir ekstraksiyon sistemi gerekli olabilir
Torbalı filtre sistemi uygulanması	İlave proseslerden çıkan metaller büyük ölçüde partikül halinde bulunduğundan, hem toz hem de metal emisyonlarının azaltılması için torbalı filtrelerin kullanımı uygundur.
Uygulama sisteminin sızdırmazlığını sağlayarak cila ürünlerinin kayıplarının en aza indirilmesi	Asitle parlatma, cam eşyaların hidroflorik ve sülfürik asitlerden oluşan bir parlatma banyosuna daldırılmasıyla gerçekleştirilir. Kayıpları en aza indirmek için uygulama sisteminin iyi tasarımı ve bakımı ile duman salınımı en aza indirilebilir
Yaş yıkama gibi ikincil bir tekniğin uygulanması	Emisyonların asidik yapısı ve uzaklaştırılacak gaz halindeki kirleticilerin yüksek çözünürlüğü nedeniyle, atık gazların arıtılması için su ile yaş yıkama uygulanır

5.10.18 H₂S, UOB emisyonları

Teknik	Açıklama
Atık gaz yakma	Teknik, hidrojen sülfürü (ergitme fırınındaki güçlü indirgeme koşulları ile üretilen) kükürt dioksit ve karbon monoksiti karbon dioksit oksitleyen bir art yakıcı sistemini içerir. Uçucu organik bileşikler, termal olarak yakılarak karbon dioksit, su ve diğer yanma ürünlerine (örn. NO_x, SO_x) oksitlenir.

6. GELİŞTİRİLMEKTE OLAN TEKNİKLER

Cam sanayiinde geliştirilmekte olan teknikler genel anlamda ergitergitme fırını için gereken yüksek yatırım maliyetlerinin azaltılmasına (yeni ergitergitme teknikleri), enerji tasarrufuna (örn. harman ve cam kırıntısı ön ısıtıcıları, yeni fırın tasarımı, yenilikçi brülörler) ve üretim sürecinin çevresel performansının iyileştirilmesine (örn. yeni ürün reçeteleri, atık geri kazanımı, azaltılmış emisyonlar ve başlıca kirleticiler için iyileştirilmiş giderme etkinlikleri) odaklanır.

Orijinal GLS BREF'te rapor edilen gelişmekte olan tekniklerin bazıları başarılı olmamış, bazılarının ise gelişimi tamamlanmış ve cam sanayiinin farklı sektörlerinde uygulamaya geçirilmiştir.

Enerji tüketimini azaltma ve NO_x emisyonlarını aynı zamanda birincil tedbirlerle en aza indirme amacını taşıyan iyileştirilmiş yakma teknikleri, temel hedefler arasındadır. Yakma kontrol sistemleri, farklı brülör tipleri ve yeni fırın tasarımları her zaman araştırılmakta ve bu bölümde özellikle gelişmekte olan teknikler olarak rapor edilmemiş olsalar da, önemli yenilikler ve gelişmeler elde edilmektedir.

Özellikle yanma kontrol sistemleri ile birlikte düşük NO_x brülörleri, enerji verimliliği ve kirliliğin azaltılması açısından performanslarının optimize edilmesi amacıyla hala sürekli bir geliştirme sürecinden geçmektedir.

6.1 Glas Flox® yüksek sıcaklıklı yakma sistemi

Açıklama

Glas Flox® brülörler, cam ergitergitmede gelişmiş bir tekniği temsil eder. Çalışma prensibi, brülör çıkışındaki düşük basınçla (brülörlere gaz enjeksiyon hızının yüksek olması nedeniyle) alevler tarafından çekilen yanma gazlarının dahili devridaimine dayanır. Devridaim gazı alevlerin kökünü soğutacak ve en sıcak kısımlarındaki oksijen içeriğini azaltacaktır. Standart gaz brülörleri ile karşılaştırıldığında, Glas Flox® brülörler daha yüksek yakma hızıyla çalışır ve genişletilmiş bir yanma bölgesi ile sağladığı reaksiyon yoğunluğu sayesinde, alevin cam eriyik banyosu üzerini daha iyi kaplanmasını sağlar. Bu özellikler, cam banyosuna daha iyi bir enerji aktarımı sağlar. Tam yakma, kızılötesi çalışır ve önemli sıcaklık ve ısı transferi değişimleri olmaksızın, eşit bir şekilde çalışır.

Glas Flox® brülörler, brülör memelerinin/çıkışlarının yakınında düşük alev sıcaklıkları ile çalışır ve bu sayede termal NO_x oluşumunun azalmasını sağlar.

Cam fırınlarındaki Glas Flox® brülörlerinin ve Flox yakma teknolojisinin genel ısı transfer özellikleri, geleneksel fırınlara (özellikle reküperatif fırınlara) kıyasla, ölçümler ve matematiksel modelleme ile daha fazla araştırma yapılmasını gerektirecektir.

Elde edilen çevresel faydalar

Bildirilen faydalar, NO_x emisyonlarında yaklaşık %50 oranında azalma ve bunun sonucunda CO₂ emisyonlarında bir azalma ile daha düşük özgül enerji tüketimidir.

Bildirilen en iyi performans, konvansiyonel bir yakma sistemi uygulandığında 1183 mg/Nm³'lük başlangıç seviyesinden 484 mg/Nm³'e indirilen NO_x emisyonu konsantrasyon değerlerini göstermektedir.

Uygulanabilirlik

Brülörler sadece reküperatif cam fırınlarında kullanılabilir.

Uygulamanın itici gücü

Standart brülörlere kıyasla daha düşük enerji tüketimi ile birlikte NO_x emisyonlarının azaltılması, Glas Flox® brülörlerin uygulanması için ana itici güçtür.

Örnek tesisler

Glas Flox® yüksek sıcaklıklı yakma sisteminin bir uygulaması şu anda (2010) Almanya'da ampul camı üretiminde kullanılmaktadır.

Referans literatür

[117, GWI, VDI-Berichte Nr.1988 2007]

6.2 Gelişmiş cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcıları

Cam imalat sanayiinde kullanılan harman ve cam kırıntısı ön ısıtıcılarının temel örnekleri 4.8.5'te açıklanmıştır ve bu nedenle yeni ortaya çıkan teknikler olarak kabul edilmemektedir. Bununla birlikte, özellikle oksî-yakıtla çalışan fırınlara cam kırıntısı ve harman ön ısıtmanın uygulanması için önemli gelişmeler devam etmektedir. Genel olarak, geleneksel fırınların oksî-yakıtla çalışanlara dönüştürülmesi sayesinde üretkenlik ve cam kalitesi artarken; NO_x ve partikül emisyonları, enerji tüketimi ve yenileme maliyetleri azalır. Bununla birlikte, ek oksijen maliyeti, birçok cam fırınında oksî-fuel pişirmenin uygulanmasında hala önemli bir ekonomik engel teşkil etmektedir. Baca gazlarının (1400 °C'ye kadar çok yüksek sıcaklıklarda salınan) enerji içeriği geri kazanılabiliyor olsaydı, oksî-yakıt dönüşümü ekonomik açıdan çok daha cazip olurdu. Mevcut cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcıları 500 - 600 °C aralığındaki sıcaklıklarda çalışır; böylece, baca gazları seyreltme havası ile soğutulur ve bunun sonucunda hacimde bir artış olur.

Gelişmiş cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcılar, soğutulmamış veya çok az soğutulmuş baca gazlarıyla çalışmak üzere tasarlanmıştır. Özellikle Praxair tarafından geliştirilen gelişmiş cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcı sisteminde (BCP sistemi), baca gazları 1200 - 1400 °C aralığındaki sıcaklıklarda ön ısıtıcıya girer.

Belgenin yazıldığı sırada (2010), farklı ekipler tarafından geliştirilen iki proje bulunmaktadır:

- RWTH Aachen Üniversitesi ile işbirliği içinde Zippe Industrieanlagen GmbH tarafından Deutsche Bundesstiftung Umwelt'in (DBU) destek programı kapsamında geliştirilmekte olan PRECIOUS projesi;
- Praxair Teknoloji Merkezi'nde geliştirilmekte olan PRAXAIR-BCP sistemi.

6.2.1 PRECIOUS-projesi

PRECIOUS projesinin amacı, cam kırıntılarının ve/veya harmanın ön ısıtmasını oksî-yakıtla çalışan bir fırının atık ısıyla yaparak CO₂ ve NO_x emisyonlarını azaltmaktır. Ön ısıtma teknolojisi teorik olarak %50'den fazla kırıntı oranı olan herhangi bir fırına kurulabilir. Bu cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcının testleri, ampul camı üreten oksî-fuel bir fırında gerçekleştirilmektedir. Enerji verimliliğinde yaklaşık %20'lik bir artış beklenmektedir. Pilot projenin tamamlanması ve teknolojinin büyük ölçekli bir proje haline getirilmesi çalışmaları halen devam etmektedir [153, Almanya Precious 2007].

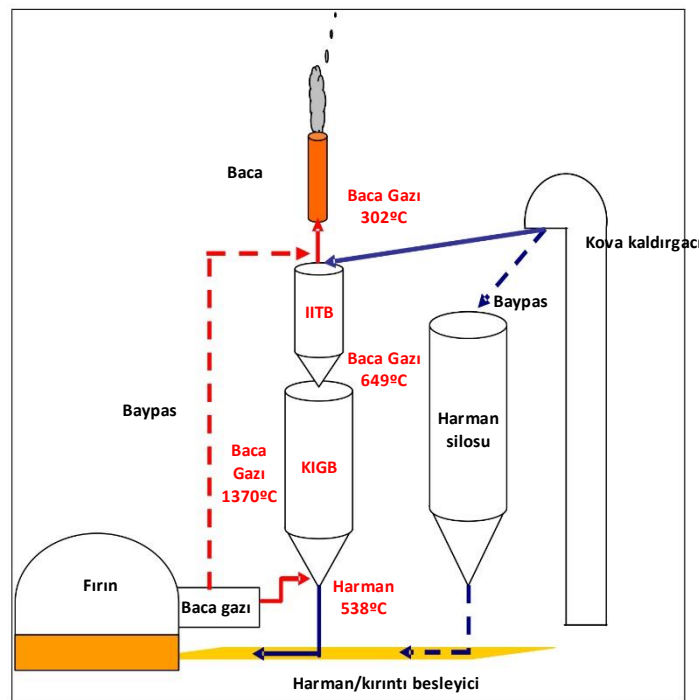
6.2.2 PRAXAIR-BCP projesi

Açıklama

PRAXAIR-BCP projesinin sistemi, harman ve cam kırıntısı ön ısıtması için uygundur ve tüm oksî-fuel fırınlardan çıkan baca gazlarının kullanımına özel tasarlanmıştır. Gelişmiş ön ısıtıcının ana özellikleri şunlardır:

- baca gazından ön ısıtıcıda bulunan harmana ve ön kırıntılara dolaylı ısı transferi gerçekleşir;
- harman ve kırıntılar (tesis içi ve yabancı) yaklaşık 480 - 600 °C'ye ısıtılır;
- oksijen-gaz veya oksijen-fuel fırınlardan çıkan baca gazları, seyretilmez veya soğuk havayla çok az seyretilir;
- ilk aşamada (dolaylı ışınlama ile ısı transferi bölümü) baca gazları bölüme seyretilmeden, tipik olarak 1200 - 1400 °C'de girer;
- yabancı cam kırıntılarında bulunan organik bileşikler tamamen uzaklaştırılır (dumanlar yakılır);
- ünite modüler bir sistemdir ve istenen boyuta uyarlanabilir;
- bakım durumunda harman ve baca gazları baypas edilebilir;
- harman besleyicilerin uyarlanmasıyla, fırında harman malzemesinin taşınımından kaçınmak için özel dikkat gösterilir;
- özel ön ısıtıcı tasarımı ile, bal renkli cam üretilirken harmandan karbon kaybı olmaz.

Şekil 6.1'de, ışınlı ısı transfer bölümünün (IITB) ve opsiyonel konvektif ısı geri kazanım bölümünün (KIGB) konumunun gösterildiği, gelişmiş harman ve cam kırıntısı ön ısıtıcısının şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 6.1 : Gelişmiş harman ve cam kırıntısı ön ısıtıcısının şematik diyagramı

Elde edilen çevresel faydalar

Bildirilen (beklenen) faydalar, emisyonlarda (CO_2 , NO_x ve partikül madde)ön ısıtıcısız oksî-fuel bir fırına kıyasla yaklaşık %15-30'lık azaltımdır. Enerji tüketimindeki azalmanın, ön ısıtıcısı olmayan oksî-fuel bir fırınla karşılaştırıldığında, bir ton erimiş cam başına yaklaşık ± 1 GJ olduğu tahmin edilmektedir.

Uygulanabilirlik

Prencip olarak, gelişmiş BCP tekniği hemen hemen tüm normal kırıntı/harman oranları için geçerlidir.

Ekonomi

BCP tekniğinin uygulanmasının potansiyel enerji tasarrufu (%15 - 25), yanmada tüketilen oksijende azaltım ve üretim oranında potansiyel bir artış (%10 - 20) ile sonuçlanması beklenmektedir. Ekipmanın geri ödeme süresinin 1 ila 3 yıl arasında olacağı tahmin edilmektedir.

Uygulamanın itici gücü

Baca gazlarından enerjinin geri kazanılması ve buna bağlı olarak üretimde tüketilen enerjinin azaltılması, gelişmiş cam kırıntısı ve harman ön ısıtıcının kullanımı için başlıca itici güçleri temsil eder. Doğrudan ve dolaylı emisyonların önemli ölçüde azaltılması, uygulama için diğer bir itici güç olacaktır.

Örnek tesisler

Pilot ölçekli bir sistem (günde 15 tonluk harman), Praxair tarafından 2007 yılında Tonawanda, NY, ABD'de 480 - 535 °C ön ısıtma sıcaklıkları ile test edilmektedir. Projenin bir sonraki adımı, ticari bir cam fırınına uygulanacak daha büyük bir sistemin tasarımıdır.

Referans literatür

[147, Kobayashi ve ark. 2007] [148, Beerkens 2008]

6.3 Yeni ürün reçeteleri

Harman reçeteleri konusunda bir dizi ilginç gelişme yaşanmakta olup bunlar aşağıda özetlenmiştir.

Kesintisiz cam elyafı için yeni cam bileşimi

Bir üretici tarafından kesintisiz cam elyafı için yeni bir cam bileşimi geliştirilmiştir. Bu cam bileşimi, E-cam ergitme için tipik olan iki temel hava emisyonu bileşenine, yani partiküllere ve florürlere yöneliktir. Bu harman reçetesi bor veya ilave flor içermez. Borun ortadan kaldırılması ve eklenen florür, camın ergitilmesini (artan erime sıcaklığı) ve elyaflaştırılmasını daha zor hale getirir ve enerji gereksiniminde de bir miktar artışa yol açabilir. Yeni reçete, endüstriyel tesislerde uygulanmaktadır ve gösterge niteliğindeki emisyon verileri yukarıdaki 3.5 ve 4.4.1.1 kısımlarında verilmiştir. Reçete, bir şirket tarafından geliştirilmiş ve patent kapsamında olduğundan, sektör genelinde kullanılmamaktadır.

Bu tip kesintisiz cam elyaf güncel olarak (2010) Avrupa'da iki şirket tarafından üretilmektedir ve muhtemelen Avrupa üretiminin yaklaşık dörtte birini veya üçte birini kapsamaktadır; bu nedenle, gelişmekte olan bir teknik olarak kabul edilemez. Diğer yandan, üretim sürecinin tabi olduğu patentler ve güncel olarak mevcut olan bilgilerin azlığı nedeniyle, teknik 'mevcut teknik' olarak da değerlendirilemez.

Maden pamuğu ürünleri için yeni bağlayıcı reçetesi

Maden pamuğu üreticileri, çevresel etkiyi azaltmak ve ürün performansını artırmak amacıyla ürünlerinin özelliklerini sürekli olarak iyileştirmektedir.

Bazı üreticiler, sanayide uzun yıllardır tipik olarak kullanılan fenol-formaldehit bağlayıcıların tamamen veya kısmen yerini alan yeni bağlayıcılar üretmek için önemli araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütmektedir. Birkaç patent yayınlanmış ve/veya teslim edilmiştir. Yeni reçeteler şunlardan birine dayanmaktadır:

- önemli ölçüde daha düşük formaldehit içeriğine sahip fenol-formaldehit reçineleri veya
- bileşen olarak fenol-formaldehit içermeyen bitki/sebze kaynaklar veya akrilik bazlı diğer reçine türleri.

Bu bağlayıcılardan bazıları piyasaya sürülmüş ve piyasada mevcuttur. Diğer durumlarda, bunların üretim, ürün özelliği ve çevresel etki bakımından uygunluklarını doğrulamak için yeni çözümlerin etkisinin tam olarak değerlendirilmesi gerekir.

Referans literatür

[174, EURIMA görüşü 2010] [150, Knauf 2008]

6.4. Taş yünü üretim sürecinde atık enjeksiyonu

Açıklama

AB'deki taş yünü üretim tesislerinde üretilen atık miktarının yılda 160000 ila 480000 ton arasında olduğu tahmin edilmektedir. Atığın büyük bölümü, eriyiğin yaklaşık %10 - 20'sinin tamamen elyaflaştırılmadığı ve ıskartaya gönderildiği elyaflaştırılma işleminden gelir. Yıllık üretimi 20.000 ton olan bir taş yünü hattında, 2000 ila 4000 ton/yıl elyaflaştırma proses atığı üretilir.

Belgenin yazıldığı sırada (2010), atıkları ergitme işleminde yeniden kullanmak için uygulanan tek sistem briketlemedir. Bu sistem, atığın öğütülmesini ve çimento ile karıştırılmasını gerektirir. Briketlerin kullanımı, esas olarak çimentonun kükürt içeriği nedeniyle kükürt oksit emisyonlarından oluşan atmosferik emisyonlarda bir artış ile ilişkilidir (bkz. 3.8.2.1).

Atık enjeksiyonu tekniği, ince fraksiyonlu malzemenin doğrudan taş yünü kupol ocağının ergitme bölgesine beslenmesinden oluşur. Enjekte edilen malzeme, kuru üretim atığıdır.

Elyaflaştırma işleminden çıkan 0 - 6 mm boyutundaki atıklar (elyaflaştırılmamış parçalar) bir bunkere ve basınçlı besleme tankına taşınır. Tankın dibinde, küçük dozlarda malzemeyi üç pnömatik besleme borusuna besleyen döner bir besleyici bulunur. Kupol ocağına, tüyerlere yakın şekilde bağlanan lanslar, boruların uçlarına yerleştirilmiştir. Malzeme, kupol ocağındaki ergitme bölgesine oksijenin verildiği lans boyunca hareket eder. Makine son derece zorlu bir ortama maruz kalır. Erime bölgesindeki sıcaklık 1700 °C'nin üzerindedir; aynı zamanda, beslenen malzemeler sert ve aşındırıcıdır, bu da makine tasarımında kullanılan malzemeler üzerinde önemli bir yük oluşturur.

Elde edilen çevresel faydalar

Bu teknikte, elyaflaştırma işleminden kaynaklanan atıkları %80 - 100'e kadar geri dönüştürmek mümkündür; bu, harman bileşimindeki mineral hammaddelerde en az %7'lik bir azalmaya karşılık gelir. Sistem ayrıca, mineral hammaddeler ve kok gibi diğer ince fraksiyonlu hammadde ve katı yakıt türleri ile çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

Atık enjeksiyonunun uygulanması, çöp sahasına giden atık miktarının azaltılmasına, ergitme işlemi için daha az kok tüketimine ve sonuç olarak daha az emisyonla neden olur. Harman reçetesinde kükürt ilavesi olmadığından, kükürt oksit emisyonları, çimento briketleri yoluyla atık geri dönüşüm sürecine kıyasla azaltılır.

Uygulanabilirlik

Atık enjeksiyon tekniği, kupol ocaklarının kullanıldığı taş yünü imalat sanayiinde uygulanabilir. Yazım sırasında (2010), devam eden geliştirme çalışmaları doğrultusunda iki üretim hattında uygulanmaktadır.

Ekonomi

Atık enjeksiyonu için gereken yatırım maliyetleri, gerekli binalar da dâhil olmak üzere briket yapımı için ekipman maliyetinin sadece %20'si kadardır.

Uygulamanın itici gücü

Atık geri dönüşümü (çimento briketleme) için kullanılan teknikle ilişkili SO_x emisyonlarının azaltılması ile birlikte atık akışının en aza indirilmesi, taş yünü üretiminde atık enjeksiyonu tekniğinin uygulanmasında ana itici gücü temsil eder.

Örnek tesisler

Finlandiya'nın Oulu kentinde prototip bir tesis 2001'den beri çalıştırılmaktadır. İsveç'in Hässleholm kentinde tam ölçekli bir pilot tesis ise, 2004'ten beri faaliyet göstermektedir. Her iki tesis de Paroc Group'a ait olup atık enjeksiyon tekniğinin geliştirilmesi projesi 2001 - 2010 Altıncı Çevre Eylem Programı kapsamında finanse edilmiştir.

Referans literatür

<http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index>
[146, EURIMA 2007]

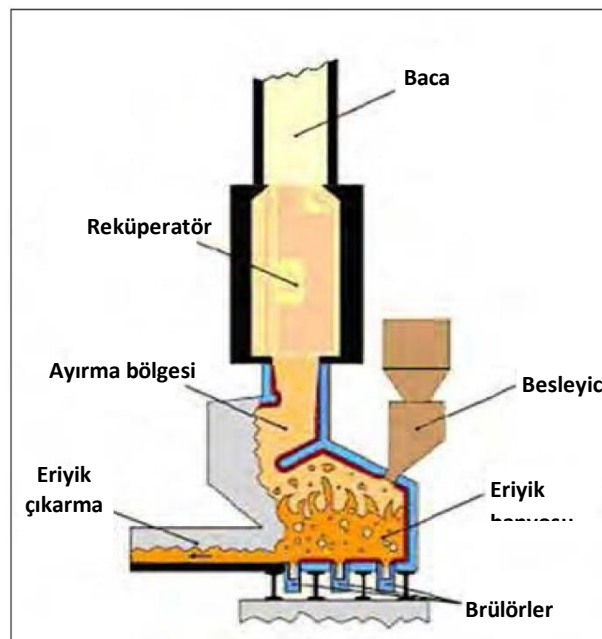
6.5 Daldırmalı yanmalı ergitergitme teknolojisi

Açıklama

Daldırmalı yanmalı ergitergitme (SCM-submerged combustion melting), ergitergitme, homojenleştirme, rafinasyon ve ısı geri kazanımını optimize etmek için çeşitli aşamaların kullanıldığı, bölümlere ayrılmış bir ergitergitme yaklaşımına dayanır.

Bu yaklaşımın, tek bir büyük tank ergiticiye kıyasla cam eriyiğinin ortalama kalış süresini ≥ 80 oranında azaltması ve dolayısıyla enerji maliyetleri ve emisyonlarda azalma sağlaması beklenmektedir. SCM ergitici, içerisinde yakıt ve oksitleyicilerin eritilmekte olan malzeme banyosuna doğrudan ateşlendiği, küçük bir tanktan oluşur. Yanma gazları, yüksek bir ısı transfer oranı ve türbülanslı karıştırma (ve taşınma) oluşturarak cam banyosunda kabarcıkların veya banyonun içinden akar. Basınçlı ısı taşınımından kaynaklanan yüksek kesme gerilimi, hızlı partikül (kum, alümina içeren hammaddeler) çözünmesi ve sıcaklığın homojenliğini sağlar. Homojen bir bileşime sahip, ancak yine de birçok toprak ve kabarcık içeren erimiş malzeme, banyonun dibine yakın bir musluktan boşaltılır.

Şekil 6.2'de daldırmalı yanmalı ergiticinin şematik bir diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 6.2 : Daldırmalı yanmalı ergiticinin şematik diyagramı

Daldırmalı yanmalı ergitici ile yapılan harman sevk ve yükleme işlemi, geleneksel ergiticilere göre daha esnektir. Sevk sistemi basit ve ucuz olabilir çünkü ergitici, hammaddelerin tam olarak karıştırılmasına gerek kalmadan 1 cm veya üzerindeki çok daha geniş bir parçacık boyutu aralığını kabul edebilecek niteliktedir. Bu özellik, hammaddelerde daha geniş seçenekler ve harman işlemede gerekli işgücü ve sermaye maliyetlerinde bir azalma sağlayacaktır.

Elde edilen çevresel faydalar

Ergiticinin duvarlarından ısı geri kazanılmadığında, en iyi oksijenli tank fırınına göre yaklaşık % 5'lik bir toplam enerji tasarrufu beklenir. Duvar kayıplarının %20'si değerindeki bir enerji geri kazanımı, yaklaşık %7,5'lik bir toplam enerji tasarrufu sağlayacaktır.

Alevlerin eriyikte söndürülmesi nedeniyle NO_x emisyonlarında bir azalma beklenmektedir.

İşletim verileri

Maden pamuğu üretimi için Ukrayna ve Belarus'ta 75 ton/gün kapasiteli beş ticari daldırmalı yanmalı ergitici çalıştırılmaktadır. Bunlar %10'dan daha az fazla yanma havası ile çalışmakta ve %8 O₂ için 350 mg/Nm³'ten az NO_x emisyonu üretmektedirler.

SCM ergitici tekniği uygulamasını yaygınlaştırmak için, mevcut ergiticilerde birkaç iyileştirme gerektiren bazı sınırlamaların üstesinden gelinmesi gerekir. İlk adım, ısı transferini iyileştirip emisyonları düşürürken aynı zamanda eriyik içindeki kabarcıklanmayı azaltmak için yanmada havadan oksijene geçilmesidir; bu, eriyikten geçen gaz hacminde %80'lik bir azalma ile sonuçlanacaktır.

Uygulanabilirlik

Belgenin yazıldığı dönemde (2010), SCM ergiticinin kullanılabilirliği maden pamuğu üretimi ile sınırlıdır. Devam etmekte olan geliştirme ve test çalışmaları, bu tekniğin çok çeşitli cam bileşimlerine ve renklerine uygulanması engellememelidir. Geliştirme çalışmalarının çoğu esas olarak ABD'deki Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) ve Gas Technology Institute, Des Plaines, Illinois tarafından yürütülmektedir.

Ekonomi

SCM ergitici tekniği, geleneksel ergitergitmeye kıyasla minimum %5 enerji tasarrufu sağlayacaktır. Sermaye maliyetlerinde ve harman işlemede işçilik maliyetlerinde de tasarruflar beklenmektedir.

Uygulamanın itici gücü

Daha düşük yatırım maliyetleri, hammadde seçiminde daha fazla esneklik, enerji tasarrufu ve başta NO_x emisyonları olmak üzere daha düşük emisyonlar, SCM tekniğinin tam olarak geliştirilmesi ve uygulanması için itici güçleri temsil eder.

Örnek tesisler

Belgenin yazıldığı dönemde (2010), Ukrayna ve Beyaz Rusya'da maden pamuğu üretimi için kullanılan beş ticari ergitici faaliyettedir.

Patent başvurusu yapılmıştır. Gas Technology Institute (GTI, Chicago, ABD) tarafından yönetilen ve altı cam şirketinden oluşan bir proje ekibi, daldırmalı yanmalı ergitergitmenin de dâhil olduğu 'yeni nesil' ergitergitme sistemleri üzerinde çalışmalarını sürdürmektedir. Bu amaç doğrultusunda, saatte 1 ton üretim kapasiteli bir pilot SCM ergitici inşa edilmiştir ve çeşitli çalışma koşulları altında bir dizi endüstriyel camı ergitergitmek için kullanılmaktadır.

Referans literatür

[149, Rue ve ark.2006]

6.6 Kuru sodyum bikarbonat ile baca gazlarının arıtılması ve gaz arıtma kalıntılarının kimyasal olarak değerlendirilmesi

Açıklama

Bu teknik, cam ergitme fırınlarından çıkan atık gazların kükürtten arındırılması için uygulanır. Sodyum bikarbonat, SO_x emisyonlarının giderilmesinde yüksek verimliliğe sahiptir (bkz. 4.4.3.3); kullanımının sonucu olarak asit gazları ile sodyum bikarbonat arasındaki kimyasal reaksiyondan kaynaklanan katı bir tortu üretilir. Katı kalıntının büyük kısmı, filtreleme sistemleri (ESP veya torbalı filtre) vasıtasıyla baca gazlarından ayrılır. Kalıntının ana bileşenleri sodyum sülfat ve sodyum karbonattır (reaksiyona girmemiş alkali reaktif). Çoğu durumda, katı kalıntı, harman reçetesinde kullanılan arıtma maddesinin (genel olarak sodyum sülfat) kısmen ikamesi yoluyla ergitme fırınına geri dönüştürülebilir; ancak bazı durumlarda kalıntı doğrudan fırında geri dönüştürülemez.

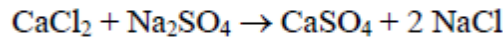
Filtre tozunun yeniden kullanımıyla ilgili başlıca sınırlamalar şunlardır:

1. katı kalıntılar çok incedir ve sonucunda erimiş camın kimyasal bileşiminin değişmesi ve rejeneratöre giren yüksek konsantrasyonlarda NaCl ile, fırından kolayca taşınma veya uçucu hale gelme (örn. NaCl) eğilimindedir;
2. katı kalıntıların kimyasal bileşimi fırının farklı çalışma koşullarına göre önemli ölçüde değişebilir, bu da nihai ürünlerin kalitesini etkileyen camın kimyasal bileşiminin kontrolünün zorluğuna neden olur.

Katı atık sahalarına atılacak bir atık akışının ortaya çıkmasını önlemek için, tortu genellikle bir soda külü üretim tesisinin yakınında bulunan özel bir tesiste arıtılır.

Arıtma, katı tortunun kalsiyum klorür (CaCl₂) (bu çözelti soda külü tesisinde mevcuttur) içeren bir çözelti içinde çözündürülmesinden oluşur.

Kimyasal reaksiyon aşağıdaki gibidir:



Elde edilen bulamaç, katı kalsiyum sülfatı (CaSO₄) ayırmak için süzülür. Sodyum klorür (NaCl) çözeltisi, kalan kalsiyum ve diğer iyonlardan arındırılmak üzere işlenir. Her iki reaksiyon ürünü de yeniden kullanılabilir.

Kalsiyum sülfat, çimento üretim sürecinde, beslemede kullanılan satın alınan diğer malzemelerin yerine kullanılabilir. Sodyum klorür çözeltisi, soda külü üretim sürecinde hammadde olarak kullanılabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Sodyum bikarbonat ile kuru yıkamada, SO_x emisyonlarının giderilmesinde yüksek verimliliğe ulaşılır. Yıkama sistemi tarafından üretilen katı kalıntının arıtılması ve yeniden kullanılması imkanı, cam üretiminde camın kalitesinden veya üretim sürecinin kontrolünden ödün verilmeksizin filtre tozunun ergitme fırınına doğrudan geri dönüştürülmesine iyi bir alternatif sunar. Ayrıca, ortaya çıkan ürünlerin değerlendirilme ve yeniden kullanılması olasılıkları nedeniyle önemli bir atık akışı önlenmiş olur.

Ortamlar arası etkiler

Katı kalıntının cam üretim tesisinden arıtma tesisine taşınması gerekir. Arıtma sürecinde enerji ve su tüketilir.

Uygulanabilirlik

Baca gazındaki küküldü giderme amacıyla sodyum bikarbonat ile kuru yıkama ve bu işlem sonucunda ortaya çıkan katı kalıntıların arıtılması, nihai cam ürününün kalite gereklilikleri veya kontroldeki zorluklar nedeniyle filtre tozunun geri dönüştürülmesinin mümkün olmadığı cam üretim tesislerinde uygulanabilir.

Ekonomi

Bu teknik, endüstri öncesi düzeyde test edilmektedir ve yapılan testler, tekniğin ekonomik olarak uygulanabilir olacağını göstermektedir.

Uygulamanın itici gücü

Baca gazı kükürt giderme tesisinden gelen katı artıkların tesis içinde geri dönüştürülme imkanı olmaması, uygulama için ana itici gücü temsil etmelidir.

Örnek tesisler

Teknik Fransa'da test edilmekte ve özel arıtma tesisleri üzerinde çalışmalar/planlanmalar devam etmektedir. Bu teknik endüstriyel olarak faaliyettedir ve Fransa ve İtalya'da baca gazı arıtımının sodyum bikarbonat ile yapıldığı belediye atık yakma tesisleri tarafından üretilen katı artıklar için uygulanmaktadır (bkz. Atık Yakma MET-Ref, 4.6.11.4 ve 4.6.11.5 kısımları).

Referans literatür

[154, AK 2006] [145, Fransa'nın katkıları 2007].

6.7 Çeşitli kirleticilerin proses atık gazlarından uzaklaştırılması için seramik ve katalitik seramik filtrelerin uygulanması

Açıklama

Cam ergitergitme fırınlarından çıkan baca gazları, ısı geri kazanım düzeyine bağlı olarak yüksek sıcaklıklara sahiptir ve katı ve gaz halindeki kirleticilerin (esas olarak NO_x ve SO_x) bir karışımını taşır. Bu kirleticilerin ayrı ayrı veya birlikte uzaklaştırılması için şu anda bir dizi yerleşik teknik uygulanmaktadır (4. Bölümdeki ilgili kısımlara bakınız).

Cam sanayiinde yüksek sıcaklıkta filtreleme sistemlerinin uygulanması yaygın değildir (bkz. 4.4.1.5). Umut vadeden sonuçlarla yüksek sıcaklıkta çalışabilen yeni bir seramik filtre türü geliştirilmektedir.

Seramik filtre elemanlarının (düşük yoğunluklu) kullanımı, cam ergitergitme fırınlarında üretilen baca gazlarının arıtılmasına yönelik, geliştirilmekte olan bir tekniği temsil etmektedir. Seramik filtreler, tozun ayrılmasında çok etkilidir ve asit gazının giderilmesi için kuru yıkama aşamasıyla birlikte iyi çalışır. Ayrıca, filtre ortamının refrakter özelliği ve uygun filtreleme sıcaklığı göz önüne alındığında, bu teknikle, katalizörün seramik filtre elemanlarına dâhil edildiği katalitik seramik filtreler uygulanarak NO_x emisyonlarının katalitik olarak azaltılması da mümkündür. Böylece, bir cam fırınının yaydığı başlıca kirleticiler, tek bir ekipman parçasında aynı anda arıtılabilir.

Elde edilen çevresel faydalar

Katalitik seramik filtrenin farklı türdeki tesislerde gözlemlenen çevresel performansına genel bir bakış Tablo 6.1'de sunulmaktadır.

Tablo 6. 1: Katalitik seramik filtre kurulumları için çevresel performansa genel bakış

Uygulama	Ölçek	Filtre alanı (m ²)	Sıcaklık (°C)	Madde	Giriş	Çıkış
Atık gaz yakma	Tam	112	220 - 260	Dioksin	1 - 2 ng/Nm ³	<0,01 ng/Nm ³
Atık gaz yakma	Pilot	56	180	NO _x	450 mg/Nm ³	48 mg/Nm ³
Atık gaz yakma	Pilot	51	280	Dioksin	75 ng/Nm ³	0.55 ng/Nm ³
Cam	Pilot	56	280	NO _x	1200 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³

Seramik filtreler partikül emisyonlarını <10 mg/Nm³'e düşürmeyi temin eder. Pratikte, seramik filtre kullanan tesislerde doğru çalıştırma ile <2 mg/Nm³ konsantrasyonlara ulaşılır.

HCl için > %90, SOX için > %80 ve NO_x için yaklaşık %80'lik giderme verimlilikleri bildirilmiştir [113, Maguin CerCat prosesi 2008].

Ortamlar arası etkiler

Kumaş torbalı filtrelerle karşılaştırıldığında seramik filtreler, tesis tasarlanırken yapılırken dikkate alınması gereken ek bir ağırlığa sahiptir. Filtre yapısını meydana getirmek için kullanılan malzemelerin yüksek sıcaklıkta çalışmaya uygun olması gerekir. NOX emisyonları için diğer katalitik indirgeme sistemlerinde (SCR, SNCR) ise, katalitik seramik filtre, amonyak veya sıcaklık yeterince yüksekse üre enjeksiyonu gerektirir. Amonyak veya ürenin depolanması ve işlenmesi kaçak emisyon kaynağı olabilir ve özel mevzuatlar geçerli olabilir.

Uygulanabilirlik

Seramik filtre elemanları 1980'lerin ortalarından beri piyasada, 1991'den beri de monolitik formlarında mevcuttur. Bu süre zarfında, yüksek sıcaklıklarda etkili filtrelemenin gerekli olduğu bir dizi görevde uygulanmışlardır.

Birkaç yıl önce Birleşik Krallık'ta geleneksel bir borosilikat cam fırınında seramik filtre uygulaması yapılmıştır; ancak tesis artık faaliyette değildir.

Seramik filtre elemanları, 900 °C'ye kadar olan işlemler için değerlendirilirken, katalitik seramik filtreler 400 °C'ye kadar olan işlemler için değerlendirilir ve bu sıcaklıkların üzerinde katalizörün etkinliği azalabilir. Pratikte, seramik filtre elemanlarına dayalı çoğu sistem, tesisin karbon çeliği yapısı için maksimum sıcaklık olan yaklaşık 450 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda çalıştırılır.

Soğurucu madde seçimi, stokiyometrik oran, sıcaklık ve uygun reaksiyon süresi seçimi de dâhil olmak üzere, etkili asit gazı yıkama (SO₂, HCl, HF) için değerlendirilmesi gereken birtakım hususlar vardır.

Sodyum bikarbonat, seramik filtre elemanları ile kullanım için tercih edilen soğurucu maddedir. Sodyum bikarbonatın yetersiz kalacağına düşünülüş koşullarda, örneğin HF yıkama için, kireç bazlı emiciler de kullanılabilir.

NO_x azaltma için, katalitik seramik filtre elemanlarına dâhil edilen katalizör, ya amonyak ya da üre reaktan ile çalışacak şekilde reçetelendirilir.

Ekonomi

Seramik filtre elemanları, kirlilik azaltma ekipmanının aşamalı olarak uygulanması potansiyelini sunar. İlk aşamada, ilerideki NO_x kontrolü için yeterli sıcaklığın korunması sağlanarak, partikül azaltma ve asit gazı gidermeye (soğurucu ile) yönelik standart filtre elemanlarına dayalı bir filtre takılabilir. İkinci aşamada filtre elemanları, NO_x giderimi için katalitik seramik filtre elemanları ile donatılabilir veya seçici bir katalitik indirgeme sistemi (SCR) kurulabilir.

En uygun seçim, ekonomik ve teknik hususlar temelinde yapılacaktır. Bu tür aşamalı bir kurulum, gereksiz veya erken harcamaları önleyecektir.

Katalitik seramik filtre temelli bir sistemin başlangıç sermaye maliyetleri, geleneksel alternatiflerden önemli ölçüde daha düşük olabilir. Yıllık işletme maliyetleri hesaplanırken enerji, soğurucu, filtre ortamı değişimi, işçilik ve diğer faktörlerin maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Maliyet hesaplamaları, katalitik seramik filtre sistemine ömür boyu sahip olma maliyetinin diğer teknolojilere kıyasla daha uygun olduğunu göstermektedir.

Uygulamanın itici gücü

Kirletici karışımını tek bir sistemle ortadan kaldırma imkanı, özellikle mevcut alan sınırlı olduğunda cazip bir seçenek olabilir.

Örnek tesisler

Katalitik seramik filtreler hem tam, hem de pilot ölçekli tesislerde küçük ölekte kullanılmaktadır. Pilot ölçekli uygulamalar, gerçek işletim koşullarını yakından yansıtabilecek şekilde kurulmuştur. Avrupa'daki bir düz, baskılı cam üretim hattında pilot ölçekli bir uygulama gerçekleştirilmiştir. Deneme tesisinde 40 Cerafil TK-3000 XS-1 filtre elemanları (3 m uzunluğunda, 150 mm O/D ve 1,4 m² etkin alan) kullanılmıştır. Elde edilen NO_x giderimi, uzun süreli uygulamalar için ideal bir sıcaklık olan 280 °C'de yaklaşık %80 olmuştur. Yapay bir eskitme denemesinde, istikrarlı, uzun vadeli bir performans gözlemlenmiştir.

Avrupa'da başka bir düz cam üretim hattında ikinci bir deneme yapılmıştır. Gizlilik hususları nedeniyle sonuçlar mevcut değildir.

Soda-kireç camı üretimi için biri cam ev eşyaları sektöründe olmak üzere iki endüstriyel uygulamanın 2010 yılında faaliyete başlayacağı açıklanmıştır. Bunların hedefi, tekniğin tam bir çalıştırma boyunca teknik ve ekonomik olarak değerlendirilmesidir.

Referans literatür

[151, Madison Filter Ltd.2008] [113, Maguin CerCat prosesi 2008]

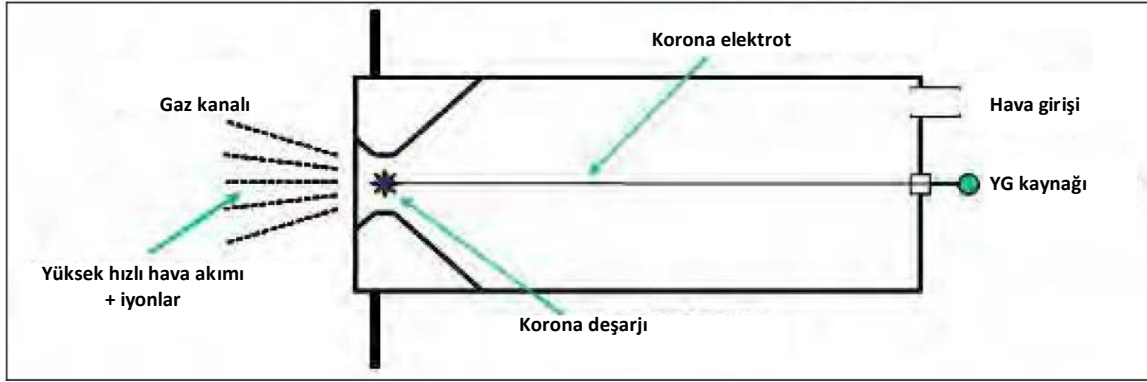
6.8 Nanopartiküller için NASU elektrostatik toz tutucu

Açıklama

Cam imalat sanayiinde, ergitme fırınının atık gazlarından toz giderme için uygulanan teknikler genel olarak elektrostatik toz tutucu (ESP) ve torbalı filtredir. Bu teknikler, çapları <2 µm olanlar dahil, büyük ve ince partiküllerin uzaklaştırılmasında iyi verimliliklere sahiptir. Ancak ince partikülleri (<2 µm), ultra ince partikülleri (<1 µm) ve nano partikülleri (<0,1 µm) ayırmak daha zordur. Yaklaşık 0,01 µm çapındaki partiküllerin aerodinamik ve elektrostatik davranışı, 2 µm ve daha büyük partiküllerin özelliklerinden tamamen farklıdır. 0,1 µm'den küçük partiküller yüksek hareketliliğe ve daha düşük yüklere sahiptir ve bunların çıkarılması için yoğun kumaşlı bir filtre gerekir ve bunun sonucunda, baca gazı hattında yüksek basınç düşüşü olur. Geleneksel ESP'lerde basınç düşüşü bir sorun olmayacaktır; ancak ince parçacıkları verimli bir şekilde uzaklaştırmak için yüklemde birkaç yükleme bölgesi (çoklu alan) kullanma ihtiyacı nedeniyle, kullanılacak birim büyük ve nispeten pahalı olacaktır (alan yükleme).

Nano partiküller için elektrostatik toz tutucu, partiküllerin yüklenmesinde farklı bir tekniği (difüzyon şarjı) temel alır ve bu, ince partiküllerde daha iyi verim gösterir.

Sistem, içinde iyonların üretildiği ve sonik hızlı hava akımı ile baca gazı kanalına üflendiği bir "sonik jetli yükleyici" kullanan iki aşamalı bir cihazdan oluşur. Sonik jetli yükleyicinin şematik bir gösterimi Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3 : Sonik jet şarj cihazının şematik gösterimi

Elde edilen çevresel faydalar

Modüler bir filtreden oluşan NASU ESP için tipik giderme verimliliği, toplam partikül kütle yükünün %80 - 90'ı arasındadır. Birden fazla alan kullanıldığında (seri olarak bağlanmış iki veya daha fazla modüler filtre ünitesi), teorik olarak %95'e kadar giderme verimliliği elde edilebilir. Bildirilen verimlilikler, ortalama parçacık boyutu 2 µm'nin altında olan parçacıkların uzaklaştırılmasına ilişkindir.

İşletim verileri

Cam ev eşyaları tesisine kurulan NASU ESP sistemi, kanalda yaklaşık 5,5 m/sn'lik bir ortalama akış hızında çalışır. Sonik jetli yükleyici temizlik gerektirmez; sabit bir korona voltajına sahiptir ve baca gazı özellikleri akımı etkilemez. Cihaz, çok küçük ve ucuzdur.

Uygulanabilirlik

NASU ESP sistemi, cam ergitme fırınları ve cam kaplama sistemleri dâhil olmak üzere farklı uygulamalarda ince parçacıkların filtrelenmesi için kullanılabilir.

Ekonomi

Sistemin modülerliği, bir dizi standart modülün farklı büyüklükteki toz tutucuların akış hızının uyumlu olmasına izin verecek şekilde birbirine eklenmesine izin verir. Bu özellik, NSU ESP sistemini çok uygun maliyetli hale getirir. Sistem düşük kurulum ve işletme maliyetlerine sahiptir ve minimum bakım gerektirir.

Uygulamanın itici gücü

Ultra ince parçacıkların emisyon kaynaklarından verimli bir şekilde uzaklaştırılması ihtiyacı, ihtiyaçlara ve atık gaz hacmine bağlı olarak bir dizi modüler ünite (10 - 12 veya daha fazla) kullanma imkanı ile birlikte, uygulama için ana itici gücü temsil eder.

Örnek tesisler

Uygulama, Beneq'te (Helsinki, Finlandiya) bir cam kaplama sisteminden çıkan baca gazlarını arıtmada test edilmiştir.

Sistem, Ocak 2009'da Littala Nuutajärvi cam fabrikasında, sıvılaştırılmış petrol gazlı brülörler ile ateşlenen cam ev eşyaları üreten iki geleneksel pota ocağında test edilmiştir. Filtre, binanın çatısına monte edilmiştir.

NASU projesi henüz tamamlanmamıştır. Bu sistemin endüstriyel amaçlar doğrultusunda uygulanabilir bir çözüm olup olmadığını değerlendirmek için çalışmalar devam etmektedir.

Referans literatür

[152, Finlandiya'nın katkıları 2009]

6.9 Yüklü sis yıkayıcı

Açıklama

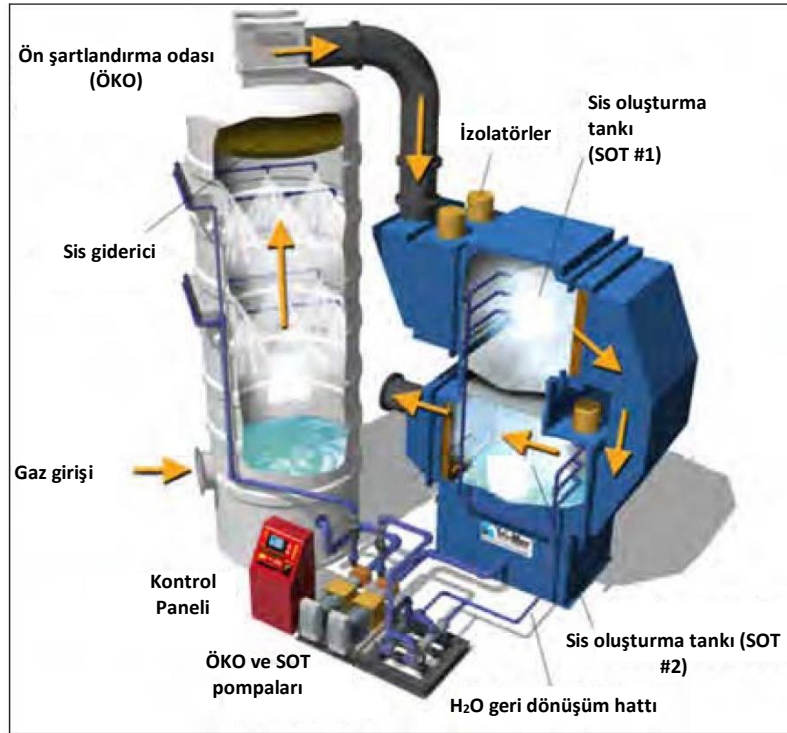
Yüklü sis yıkayıcı (CCS - Charged Cloud Scrubber) tekniği, hem partiküllerin hem de gaz halindeki kirlenmelerin; atık gazların, içerisinde yüksek yoğunluklu ve yüklü su damlacıklarından oluşan dikkatlice oluşturulmuş bir "yıkama bulutu" bulunan bir odadan geçirilmesiyle uzaklaştırıldığı bir sistemden oluşur.

Sis odası sisteminin içerisinde, milyarlarca damlacık proses atık gazlarında bulunan partiküllerle hızla etkileşime girer. Bir partikül ve bir damlacık 20 mikron içinde geçerken, elektrik kuvvetleri karşılıklı çekime neden olur ve partikül, damlacığın içine çekilir.

Yakalanan parçacıklar, hazne içinde toplanır ve düşük hacimli bir bulamaç olarak çıkarılmak üzere odanın tabanında birikir. Haznenin tepesinden çıkan nispeten temizlenmiş su, yeniden doldurulduğu ve sistemde yeniden kullanıldığı yükleme ızgarasına yeniden devridaim edilir.

CCS sistemi, ince ve ultra ince partiküllere ek olarak çözünebilir gaz halindeki kirlenmeleri (örn. SO_2 , HCl , HF , NH_3) de giderebilir.

Şekil 6.4'te şematik bir diyagram gösterilmektedir.



Şekil 6.4 : Yüklü sis yıkayıcı sisteminin şematik diyagramı

Elde edilen çevresel faydalar

Oksi-yakıtlı çalışan bir cam fırından çıkan atık gazlar üzerinde yapılan pilot testlerde rapor edilen çevresel faydalara göre, hem partiküller hem de SO_x için yüksek azaltma verimliliklerine ulaşıldığı öne sürülmektedir (sırasıyla 410 mg/Nm^3 'ten 23 mg/Nm^3 'e ve 770 mg/Nm^3 'ten 1 mg/Nm^3 'e kadar; veriler ölçüldüğü şekliyle verilmiştir). Oksi yakıtlı çalışan bir fırına uygulanan tam ölçekli bir CGS sistemi ABD'de test edilmektedir ve sonuçlar henüz mevcut değildir.

İşletim verileri

Damlacıkların elektrostatik olarak yüklenmesi için tüketilen elektriğin, elektrostatik toz tutucu sistemlerine kıyasla önemli ölçüde daha düşük olduğu tahmin edilmektedir.

CCS sistemindeki basınç düşüşü çok düşüktür ve esas olarak sis giderici ve bağlantı kanalları tarafından meydana getirilir. Tekniğin partikül yüklemesindeki ve diğer yükleme bileşenlerindeki değişikliklerden etkilenmediği bildirilmektedir.

Uygulanabilirlik

Sistem potansiyel olarak tüm cam fırın türlerinden çıkan atık gazlara uygulanabilir; ancak bunun doğrulanması gerekir.

Ekonomi

Belgenin yazıldığı sırada (2010) maliyetlere dair herhangi bir veri mevcut değildir.

Uygulamanın itici gücü

CCS sistemi, hem ince toz hem de asit gazının azaltılmasının gerekli olduğu yerlerde alan gereksinimlerini önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir.

Örnek tesisler

Belgenin yazıldığı sırada (2010), ilk tam ölçekli kurulum ABD'deki bir oksit-fuel fırında test edilmektedir.

Referans literatür

[170, N.Harris 2009] [171, Tri-Mer Corporation 2010]

7. SON DEĞERLENDİRMELER VE GELECEKTEKİ ÇALIŞMALARA YÖNELİK ÖNERİLER

İnceleme sürecinin zamanlaması

Cam İmalatı konulu MET referans belgesinin (GLS BREF) gözden geçirilmesine yönelik çalışma, TÇG'nin Şubat 2006'da yeniden aktif hale getirilmesiyle başlamış, ardından Mart 2006'da bir istek çağrısı ve TÇG üyelerinin istekleri ve belgenin gözden geçirilmesi için temel konuları özetleyen arkaplan belgesinin hazırlanmasıyla devam etmiştir.

MET referans belgesinin gözden geçirilme sürecine ilişkin başlangıç toplantısı Ocak 2007'de yapılmıştır. TÇG, mevcut belgenin yapısını koruma ve başta emisyon ve tüketim seviyelerine ilişkin yeni veriler olmak üzere ek bilgileri entegre ederek tüm bölümleri güncelleme konularında mutabık kalmıştır. İlave işlemler, ağır metal emisyonları, kırıntı kullanımı (bulunabilirlik, kalite gereksinimleri vb.) ile ilgili mevcut bilgilerin genişletilmesine ihtiyaç duyulduğu kaydedilmiştir. Özellikle bor bileşikleri emisyonları, difüz ve kaçak emisyonlar gibi mevcut belgede kapsanmayan konulara ilişkin bilgilerin dâhil edilmesine karar verilmiştir.

Başlangıç toplantısında, Komisyon (DG COMP) tarafından birtakım büyük cam imalat şirketlere karşı devam etmekte olan bir ihlal prosedürüyle ilgili bir rekabet sorunu nedeniyle, MET referans belgesinin incelenmesi için toplanacak verilerin gizliliğine ilişkin endişeler dile getirilmiştir. DG COMP ile istişaredenim ardından, TÇG'nin bir alt grubu, hassas rekabet sorunlarından kaçınmak için gerekli kısıtlamalarla birlikte, veri toplama yönergelerini tanımlamıştır. Bu gereksinim, tesis düzeyinde emisyon ve tüketim verilerinin toplanmasında bazı zorluklara neden olmuştur.

Veri ve bilgi toplama süreci Temmuz 2007'de tamamlanmıştır. Bilgiler tesis ziyaretleri, TÇG üyeleriyle istişare ve EKÖKB içerisinde gerçekleştirilen tetkikler aracılığıyla doğrulanmıştır.

1. ila 4. Bölümleri kapsayan ilk MET referans belgesini taslağı, TÇG için Nisan 2008'de sona eren bir istişare dönemiyle birlikte, Şubat 2008'de yayınlanmıştır. Çalışma, Mayıs 2008'de yeni bir yazar tarafından devralınmış, yeni yazar tarafından hazırlanan ilk taslağın gözden geçirilmiş versiyonu Eylül 2008'de yayınlanmıştır. Ekim 2008'de, gözden geçirme sürecini tamamlamak için ilave bilgilerin gerekli olduğu bir dizi özel konuyu tartışmak amacıyla, TÇG için ara dönem toplantısı düzenlenmiştir.

5. Bölüm (Mevcut En İyi Teknikler hakkında taslak sonuçlar) ve 6. Bölümün (Geliştirilmekte olan teknikler) dâhil edildiği revize edilmiş MET referans belgesinin ikinci taslağı, TÇG üyelerinin gözden geçirilmiş belge hakkındaki yorumlarını Eylül 2009'a iletmeleri talebiyle, Haziran 2009'da (belgenin tamamı) yayınlanmıştır.

Nihai TÇG toplantısı Aralık 2009'da yapılmıştır. Toplantı sırasında, TÇG, 20 Üye Devlet, ilgili sanayi kuruluşları, Avrupa Komisyonu ve çevre alanında faaliyet gösteren STK'ları temsil eden 85 üyeden oluşmaktaydı.

Bilgi kaynakları ve bilgi boşlukları

Bu MET referans belgesinin gözden geçirilmesi için yapılan bilgi alışverişi, yukarıda belirtilen ve esas olarak rekabete ilişkin konulardan kaynaklanan kısıtlamalardan etkilenmiştir. Ancak, çok sayıda faydalı belge sunulmuş ve bu belgenin gözden geçirilmiş versiyonuna 100'den fazla yeni referans dâhil edilmiştir. Orijinal belgede ise, bilgilerin önemli bir kısmı sekiz farklı cam sektörünün çeşitliliğini desteklemek ve tanımlanan tekniklerin tüm süreçler ve sektörlerde uygulanabilirliğini göstermek için sunulmuştur. Bilgi alışverişinin verimliliğini ve yüksek düzeyde şeffaflığını sağlamak amacıyla, TÇG üyelerinden alınan belge ve yorumları yüklemek için MET bilgi sistemi (BATIS) sistematik bir şekilde kullanılmıştır.

Bilgilere en önemli katkıda bulunanlar, cam sanayiinin tamamını (CPIV) ve ayrı sektörleri (FEVE, Glass for Europe, APFE, Domestic Glass, ESGA, EURIMA, ECFIA, ANFFECC) temsil eden endüstriyel dernekler ve başta Avusturya, Fransa, Almanya, İtalya, Hollanda, Portekiz ve İspanya olmak üzere çeşitli Üye Devletlerdir.

Örnek tesislerin emisyon verilerini içeren bir dizi belge ile maliyetler ve ortamlar arası etkiler hakkında kapsamlı bilgiler, başta HVG (Almanya), Avusturya, TNO (CPIV tarafından sunulmuştur) ve Entec'ten (EURIMA tarafından sunulmuştur) alınan raporlar olmak üzere, özellikle 4. Bölüm'ün gözden geçirilmesinde kullanılmıştır.

Alınan bilgiler oldukça faydalı olmasına rağmen, bazı sorunlar tespit edilmiştir:

- Emisyon ve tüketim verileri düzenli olarak toplu bir biçimde sunulmuştur.
- Gönderilen örnek tesis verilerinin bazılarında, tekniklerin maliyetleri için referans yılı ve noktasal ölçümlerinin kullanıldığı yerlerde uzun vadeli emisyon performansı gibi bazı boşluklar mevcuttur.
- Bazı sektörler için, enerji tüketimi verileri bir aralık (minimum ve maksimum değer) olarak verilmiş ve fırın tipi ve yaşı ve kırıntı yüzdesi gibi ilgili parametrelerle tamamlanmamıştır.
- Renkli düz cam, kristal cam ambalaj ve cam ev eşyaları üretiminden kaynaklanan selenyum bileşiklerinin emisyonları ile emisyonların giderilmesine yönelik yıkama sistemlerinin performansı konularında veri eksiklikleri tespit edilmiştir.

Bilgi alışverişi sırasında ulaşılan fikir birliğinin düzeyi

Teknik çalışma grubunun son toplantısı sırasında ve sonrasında, TÇG içerisinde tüm belge için bir fikir birliğine varılmıştır. MET-İES'ler hakkında sınırlı sayıda farklı görüş ifade edilmiş ve bunlardan ikisi kaydedilmiştir.

Tablo 7.1'de, TÇG üyeleri tarafından ifade edilen ve kayıt altına alınan görüş ayrılıkları gösterilmektedir.

Tablo 7.1: Görüş ayrılıkları

MET sonucu	Görüşü belirten	Görüş ayrılığı
17	Portekiz, İtalya	Bu iki Üye Devlet, NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik yakma modifikasyonlarının uygulanmasına ilişkin MET-İES aralığının üst değerinin, özellikle yandan ateşlemeli, gazlı, rejeneratif fırınlar için mevcut tesislerde elde edilemeyeceği görüşündedir. Örnek tesis verileri (bkz. 4.4.2.1 kısmındaki Tablo 4.15, Sütun 1) ve 4.4.2.1 kısmındaki 'İşletim verileri'nde bildirilen değerlere göre, günlük ortalama veya örnekleme periyodu boyunca ortalama olarak belirlenen 800 mg/Nm³'lük MET-İES'in (1,2 kg/ton erimiş cam'a eşdeğer), her tür geleneksel ergitme fırınına temsil etmediği düşünülmektedir. 700 - 1100 mg/Nm³ (0,9 - 1,7 kg/ton erimiş cam) aralığındaki emisyon seviyeleri, yandan ateşlemeli ve gazlı fırınlar için elde edilebilir olarak belirtilmiştir. İki Üye Devletin görüşüne göre, daha düşük ilişkili emisyon seviyelerine ulaşmak için daha verimli bir MET alternatifi olarak kabul edilebilecek ikincil önlemlerin (örneğin SCR ve SNCR) uygulanması, teknik kısıtlamalar ve esnekliğinin düşük olması nedeniyle bu tip fırınlarda hiç uygulanmamıştır.
19	Avrupa Cam Ambalaj Federasyonu (FEVE)	Sanayi kuruluşu, hem doğal gaz hem de petrol yakıtlı fırınlar için MET-İES aralıklarının üst değerinin, özellikle harman reçetesinde filtre tozunun tamamen geri dönüşümünün sağlandığı ve yüksek oranda yabancı kırıntı kullanıldığı durumlarda elde edilmesinin zor olduğunu görüşündedir. Camın rengini ve diğer ilgili özellikleri belirleyen, sabit oksidasyon durumuna sahip ve eriyikte düşük kükürt tutan belirli cam türlerinin üretimi, genellikle daha yüksek kükürt tutan camlara kıyasla daha yüksek SO_x emisyonları ile ilişkilidir. Belgenin 3.3.2.2 kısmındaki Tablo 3.15 ve 4.4.3.3 kısmında rapor edilen verilere göre, gazla çalışan fırınlar için <500 - 800 mg/Nm³ (0,75 - 1,2 kg/ton erimiş cam), petrol yakıtlı fırınlar için ise <1200 - 1500 mg/Nm³ (1,8 - 2,3 kg/ton erimiş cam) aralığındaki değerler beklenmektedir. Sanayinin görüşüne göre, sonuçlandırılan MET-İES aralıkları, filtre tozunun oluşturduğu atık akışına neden olacak ve Avrupa'da cam ambalajların (yabancı kırıntılar) geri dönüşümünü tehlikeye atacaktır.

Forum ile istişare ve müteakiben MET Sonuçlarının resmi olarak benimsenmesi prosedürü

24 Haziran 2012 tarihinde, bu MET referans belgesi için teklif edilen içerik konusunda Endüstriyel Emisyonlar konulu ve 2010/75/AB sayılı Direktifin (EED) 13. Maddesi uyarınca oluşturulan bilgi alışverişi forumuna (genellikle EED 13. Madde Forumu olarak anılır) danışılmış ve Forum, 12-13 Eylül 2011 tarihli toplantısında görüşlerini bildirmiştir.

EED 13. Madde Forumunun görüşü, iki farklı yorum grubu halinde ayrılmaktadır. İlk olarak, görüşte, forumun nihai MET referans belgesine dâhil etmek için üzerinde fikir birliğine vardığı yorumlar listelenir. İkinci olarak ise, Forumun bazı üyelerinin görüşlerini temsil eden ancak nihai MET referans belgesine dâhil edilmek üzere fikir birliğine varılamayan yorumlar listelenir.

Forumun tam görüşü şu adreste mevcuttur:

http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied_art_13_forum/opinions_article

Komisyon bunun sonucunda, cam imalatı konulu MET sonuçlarını oluşturan Komisyon Uygulama Kararı taslağını hazırlarken, EED 13. Madde Forumunun görüşünü dikkate almıştır.

Endüstriyel Emisyonlar Direktifi (EED) 75. Madde Komitesi, 21 Kasım 2011 tarihli toplantısında taslak Uygulama Kararı hakkında olumlu görüş bildirmiştir.

Bu süreçte belgede önemli bir değişiklik yapılmamıştır.

Gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler

Bilgi alışverişi ve elde edilen sonuçların kalitesi; MET'in belirlenmesinde, MET-İES'lerin düzeltilmesinde ve diğer ilgili seviyelerin belirlenmesinde dikkate alınacak belirli tekniklerin uygulanabilirliğinin tanımlanmasına yardımcı olmak için, gelecekte daha fazla bilginin toplanması gereken bazı alanlar olduğunu ortaya koymuştur.

Ortamlar arası sorunlarının derinlemesine anlaşılmasını ve tanımlanmış bazı MET'lerin performansında potansiyel iyileştirmeleri sağlamak için, daha fazla çalışma yapılması faydalı olacaktır. Daha fazla çalışma yapılmasının gerekli olduğu ve belgenin revize edilmesi esnasında gözden geçirilmesi gereken alanlara yönelik tavsiyeler aşağıda tartışılmıştır.

- Belirlenen tekniklerin performansını değerlendirmek için tesis düzeyinde daha fazla veri toplanmalıdır. Uygulanan tüm ilgili tekniklere atıfta bulunulan emisyon verileri toplanmalıdır.
- Ölçme yöntemleri (sürekli veya sürekli ölçümler), özellikle tespit sınır değeri ve belirsizliği ile ilgili daha fazla bilgi, emisyon verileriyle birlikte sağlanmalıdır.
 - Özgül enerji tüketimi verileri, daha iyi anlaşılması için ayrıştırılmış bir biçimde sağlanmalı; tesis düzeyinde daha detaylı bilgiler toplanmalıdır (örn. kırıntı yüzdesi, fırın yaşı vb.).
 - Belirli bir tesis için sağlanan yatırım ve işletme maliyetlerine ilişkin veriler, diğer ilgili bilgilerle (yatırım yılı, maliyet verilerine dâhil edilen kalemler vb.) ilişkilendirilmelidir.
 - CO emisyonları ile ilgili daha fazla veri toplanmalıdır.
 - SCR veya SNCR'nin uygulandığı durumlarda, özellikle elde edilebilir NO_x emisyon seviyelerini amonyak kaymasının potansiyel ortamlar arası etkisi ile ilişkilendirmek için NH₃ emisyonları hakkında daha fazla veri toplanmalıdır.
 - Tesis seviyesindeki bor bileşikleri emisyonlarına ilişkin veriler, bu bileşiklere özgü MET-İES'lerin tanımı göz önünde bulundurularak toplanmalıdır. Bu tavsiye, 2006/1907/AK sayılı REACH Avrupa Yönetmeliği'nin uygulanması kapsamında Yüksek Önem Arz Eden Maddeler (SVHC) aday listesine iki bor bileşiğinin (borik asit, anhidrit disodyum tetraborat) dâhil edilmesi nedeniyle özellikle önemlidir.
 - Yüksek SO_x emisyonu giderme verimlilikleri ve filtre tozunun harman bileşimine geri dönüştürülmesiyle ilişkili ortamlar arası etkileri değerlendirmek için düz cam ve cam ambalaj sektörleri için tesise özel ilave bilgiler ve emisyon verileri toplanmalıdır. Özellikle, daha yüksek SO_x emisyonlarına karşı filtre tozunun katı atık sahasına bertarafı seçenekleri daha fazla araştırılmalıdır.
 - Taş yünü üretimi için, SO_x giderme verimlilikleri ve katı atık akımının üretimiyle bağlantılı ortamlar arası etkiler hakkında tesis düzeyinde ilave veriler toplanmalıdır. Özellikle, katı atıkların çimento briketleri aracılığıyla geri dönüşümü ve filtre tozu için alternatif yollara ilişkin bilgiler eklenmelidir. Taş yünü üretimi için, ilave faaliyetlerden kaynaklanan uçucu organik maddelere (UOB) ilişkin emisyon verileri ile kaynaklar ve azaltma tekniklerine ilişkin bilgiler, daha ayrıntılı olarak değerlendirilmelidir.
 - Harman reçetesinde nitratların kullanımıyla ilişkili SO_x emisyonlarına dair veriler, ilgili tüm sektörler (cam ambalaj, düz cam, cam ev eşyaları ve özel cam; maden pamuğu, fritler) için toplanmalıdır. Hem sektöre özgü tipik emisyon verilerine hem de tesis düzeyindeki değerlere ihtiyaç vardır.

- Frit üretimi için, sektörü daha iyi değerlendirmek için SO_x emisyonlarına ilişkin tesise özel ek veriler ve bunları azaltmak için olası teknik seçeneklere ilişkin bilgiler toplanmalıdır.

Gelecekteki Ar-Ge çalışmaları için önerilen konular

Tekniklerin teknik ve ekonomik kısıtlamaları belirlemek için, NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik ikincil (boru sonu) tedbirlere (örn.SCR, SNCR) özellikle atıfta bulunularak, bazı mevcut tekniklerin frit sektörüne uygulanma imkanı araştırılmalıdır.

Bor içeren camların ergitergitme fırınlarından çıkan bor bileşiklerinin katı ve gaz emisyonlarının ölçümü üzerine karşılaştırmalı bir çalışma, standart bir numune alma yönteminin tanımlanması ve uygun MET-İES'lerin değerlendirilmesi için faydalı olacaktır.

SCR'nin cam sanayiinde uygulanması konusunda; diğer endüstriyel sektörlerde gözlemlenen performanslara dayalı olarak, daha düşük NO_x emisyon seviyelerinin teorik olarak ulaşılabilir olduğu rapor edilmiştir. Özellikle düz cam sektöründe daha düşük NO_x emisyon seviyelerine ulaşma imkanı araştırılmalıdır.

Komisyon, Araştırma ve Teknolojik Gelişim programları aracılığıyla; temiz teknolojiler, gelişmekte atık su arıtma ve geri dönüşüm teknolojileri ve yönetim stratejileri ile ilgili bir dizi proje başlatmakta ve bunları desteklemektedir. Bahsi geçen projeler, gelecekteki MET-Ref incelemelerine faydalı katkılarda bulunabilir. Bu nedenle okuyucuların, bu belgenin kapsamıyla ilgili araştırma sonuçları hakkında Avrupa EKÖK Bürosunu bilgilendirmeleri rica olunur (ayrıca bkz. bu belgenin Önsözünün beşinci kısmı).

Tüm yorumlar ve öneriler, aşağıda adresi verilen Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsündeki Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrol (EKÖK) Bürosuna yapılmalıdır.

Avrupa Komisyonu
Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü
Avrupa EKÖK Bürosu
Edificio Expo
c/ Inca Garcilaso, 3
E-41092 Sevilla, İspanya
Telefon: +34 95 4488 284
Faks: +34 95 4488 426
E-posta: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Internet : <http://eippcbjrc.ec.europa.eu>

8. EKLER

8.1 Ek I: Hava kirliliği kontrol maliyetlerinin ve ortamlar arası etkilerin tahmin yöntemi

[94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]

4. Bölümün 'Ekonomi' kısımlarında sunulan maliyet verileri sonuçları ve tablolarının çoğu için kullanılan referans belge, cam sanayii tarafından sağlanmıştır. 4. Bölümde ve bu kısımda sunulan veriler, hava kirliliğini kontrol altına almak amacıyla çeşitli cam sektörlerinde ve fırın boyutlarında uygulanan farklı tekniklerin maliyetlerine ve ortamlar arası etkilerine atıfta bulunmaktadır.

Bu kısımda, bir cam üretim tesisi için hava kirliliği kontrol ekipmanının kurulumu ve işletimi ile ilgili ek üretim maliyetlerini tahmin etmek için uygulanan metodoloji açıklanmaktadır. Aslen belirli kirlitici türlerinin emisyon seviyelerini (konsantrasyonlar veya mutlak değerler olarak) azaltma amacı ile gerçekleştirilen proses değişikliklerinin uygulanmasıyla ilgili ekstra maliyetlerin hesaplanması (tasarımdaki değişiklikler, havayla ateşlemeden oksijenle ateşlemeye veya elektrikli ergitmeğe dönüşüm) de bu kısımda açıklanmıştır.

Hollanda'da; maliyetlerin ve çevresel önlemlerin etkilerinin, araştırılan tekniği kullanan şirket tarafından uygulanan dahili maliyet rakamlarından bağımsız olarak standartlaştırılması amacıyla bir hesaplama metodolojisi geliştirilmiştir (NER Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht , InfoMil Eylül 2004. ISBN 90-776323-01-1) [155, NER Nisan 2003].

Maliyetlerin büyük bölümünün hesaplanması için benimsenen, 4. Bölümde rapor edilen ve aşağıdaki kısımlarda sunulan metodoloji, esas olarak NER yaklaşımına dayanmaktadır.

Cam sanayiinde başlıca emisyonlar genellikle ergitme işleminden kaynaklandığından, burada sadece cam ergitme fırınlarının katı ve gaz emisyonlarını azaltma maliyetleri dikkate alınmaktadır.

8.1.1 Ekonomik değerlendirmeye dâhil edilen maliyetler

Hava kirliliği kontrol (HKK) sistemleri için ek maliyetler, mevcut tesislerde ilave ekipman veya yapılacak değişiklikler için sermaye/yatırım maliyetlerini içerir. Bu maliyetler ekonomik ömür boyunca yayılmış ve yıllık sermaye maliyeti olarak hesaplanmıştır. Bu maliyetler, yatırımların yıllık amortismanı artı yıllık faiz maliyetlerini içerir.

Tipik yatırım maliyetleri, örneğin:

- filtreler, yıkayıcılar, SCR ekipmanı, yeni brülörler, fırın tasarımıdaki değişiklikler
- boru tesisatı, mevcut baca gazı sistemlerine vana bağlantıları, baca gazının ekipman üzerindeki basınç düşüşünü telafi etmek için ekstra fanlar veya fan kapasiteleri (filtre, SCR, yıkayıcı)
- atık malzemelerin depolanması (silo) ve taşınması, örneğin toplanan filtre tozu
- ıslak yıkama sistemlerinde; atık su arıtma sistemleri ve kanalizasyon çamuru arıtma
- sahada mühendislik ve ekipman inşası/montajı
- yeni ekipmanların taşınması
- saha hazırlığı; temeller, binalar
- elektrik ikmali, transformatörler
- bacalardaki değişiklikler veya ilave baca kurulumu
- ruhsat maliyetleri (genellikle temel ekipman fiyatına dahildir)
- HKK sisteminin performansını kontrol etmek ve HKK işlemlerindeki arızaları (katalizör zehirlenmesi veya kirlenmesi, arızalı torba filtre modülleri gibi) tespit etmek için gerekli baca gazı bileşimi (NO_x , SO_x , O_2 , toz) için sürekli izleme sistemidir.

Bu çalışmada, bu yatırımlara uygulanan faiz oranları yıllık %6 olarak belirlenmiş olup, HKK ekipmanının ortalama kullanım ömrü ve ekonomik amortisman süreleri dikkate alınarak, ekipmanın amortisman süresi 10 yıl olarak kabul edilmiştir. Binalar, temeller veya diğer altyapı önlemleri için amortisman 25 yıla eşit olarak dağıtılmıştır.

Faiz oranı ve amortisman süresinin ortalama yıllık HKK maliyetlerine katkısını hesaplamak için kullanılan formül, 2007 değerine göre aşağıdaki gibidir:

$$\text{Euro/yıl cinsinden sermaye maliyetleri} = \text{Ekipman maliyetleri} \times \left[\frac{(1+I/100)^{ELE}}{(1+I/100)^{ELE}-1} \right] \times I/100 + \text{Altyapı maliyetleri} \times \left[\frac{(1+I/100)^{ELI}}{(1+I/100)^{ELI}-1} \right] \times I/100$$

Burada:

- ELE = ekipman için yıl cinsinden amortisman süresi (varsayılan değer: 10 yıl)
- ELE = altyapı yatırımları için yıl cinsinden amortisman süresi (varsayılan değer: 25 yıl)
- I = % cinsinden, sermayenin yıllık faiz oranı (varsayılan değer: %6/yıl)
- ekipman maliyetleri = satın alınan tüm ekipmanın ve kurulumunun cari değeri + cari değer üzerinden hizmetten çıkarma
- altyapı maliyetleri = temellerin, elektrik arzının, binaların ve bazı durumlarda baca modifikasyonlarının cari değer üzerinden maliyetleri.

Hava kirliliği kontrol ekipmanlarının işletme maliyetleri aşağıda verilmiştir.

- Ekstra enerji tüketimi: Önemli faktör oksijen üretimi, motor fan çalışması ve basınçlı hava tüketimi için kullanılan elektrik enerjisidir (filtrelerin temizlenmesi, gaz akışına soğurucu enjeksiyonu, amonyak çözeltisinin aspirasyonu).
- Kimyasal maddeler: Amonyak çözeltisi (veya üre), kireçtaşı veya sönmüş kireç (yıkayıcılar için), sodyum karbonat veya sodyum bikarbonat.
- Ekstra yakıt: Bazı durumlarda, örneğin enerji verimliliğindeki kaybı telafi etmek için veya 3R prosesi uygulandığında, dış atım gazlarına hidrokarbon enjeksiyonu için.
- Oksijen: Oksijen, küçük talepler olduğunda (küçük fırınlar) kamyonlarla sağlanır. Bu durumda oksijen, kriyojenik damıtma veya moleküler elek prosesleri (PSA veya VSA/VP SA) ile sahada büyük miktarlarda oksijen üretimine kıyasla daha pahalı olur. Bazı cam şirketleri, yakın çevrelerinde bulunan sıvı oksijen boru hatları ile doğrudan tedarik sağlayabilir. Oksijen fiyatları, tüketim seviyesine (gerekli oksijen kapasitesi), sözleşme koşullarına, oksijen üretim sahasına olan mesafeye ve yerel elektrik fiyatlarına bağlı olarak, Nm³ (saf) başına 0,05 Euro ile 0,15 Euro arasında değişebilir.
- CO₂ izinleri: HKK sistemlerinin çalışmasıyla ilişkili ekstra fosil yakıt enerjisi tüketimi (örn. 3R süreci) veya farklı fırın türlerinin (oksijen veya hava yakıtlı) fosil yakıt enerji taleplerindeki değişiklikler CO₂ emisyonlarının hacmi ve gerekli CO₂ izinlerinde değişikliklere neden olacaktır (bu çalışmada 1 tonluk bir CO₂ emisyonu için alınacak iznin 20 Euro'ya mal olduğu varsayılmıştır).
- Filtre tozu bertarafı: Cam şirketleri, filtre tozunu harmanda hammadde olarak yeniden kullanmaya çalışır. Ancak sistemde kabul edilemez düzeyde kükürt veya klorür birikimi olması veya fırında ince tozun taşınımıyla ilgili sorunlar olması durumunda, filtre tozunun bir kısmının (veya bazen tamamının) harici olarak bertaraf edilmesi gerekir. Bertaraf artı nakliye maliyetleri, bir ton toz başına 400 Euro'ya kadar çıkabilir.
- Ekipmanın bakımı ve işgücü tarafından çalıştırılması.
- Baca gazı izleme ekipmanının düzenli kalibrasyonu.
- Temizleme, yarı kuru ve yaş yıkama veya amonyak çözeltilerinin hazırlanması için kullanılan su.
- Onarımlar
- Tipik ömrü 5 yıl olan katalizör modüllerinin veya torba filtre modüllerinin değiştirilmesi.

Sarf malzemeleri ve enerji maliyetlerini hesaplamak için aşağıdaki belirli fiyatlar varsayılan değerler olarak kullanılmıştır:

- elektrik: Büyük ölçekli endüstriyel tüketiciler için elektrik fiyatları (EuroStat: büyük ölçekli endüstriyel tüketiciler için elektrik fiyatları ve büyük ölçekli endüstriyel standart tüketiciler için doğal gaz fiyatları) üzerinden tahmin edilen, kWh başına 0,091 Euro (2007 yılı için, AB-27 düzeyindeki vergiler dahil)
- doğal gaz/fuel oil: 10,43 Euro/GJ (vergiler dâhil net kalorifik yanma değerine göre) veya 9,41 Euro/brüt GJ
- oksijen fiyatı: Büyük ölçekli tüketiciler için m³ başına 0,06 Euro; küçük ölçekli tüketiciler için m³ başına 0,10 Euro
- SCR sistemleri için katalizör modülleri: m³ başına 12000 Euro
- su: m³ başına 2 Euro
- amonyak (NH₃): ton başına 400 Euro
- sönmüş kireç: ton başına 175 Euro (yüksek kalite sınıfı)
- sodyum karbonat: ton başına 160 Euro
- sodyum bikarbonat: ton başına 210 Euro
- CO₂ izinleri: ton CO₂ başına 20 Euro
- iş gücü: yılda tam zamanlı çalışan (1680 saat) başına 40000 Euro
- atık bertarafı (gerekli ise): ton atık (kimyasal atık) başına 400 Euro (*)

Yukarıdaki maliyetler, 2007 yılında AB-27'deki ortalama durum için türetilmiştir/tahmin edilmiştir.

8.1.2 Farklı teknolojilerin maliyetlerinin karşılaştırılması

Bazı durumlarda, belirli bir kirletici için emisyonların azaltılmasıyla ilgili maliyetler, doğrudan boru sonu ekipmanının (yıkayıcılar, filtreler veya SCR gibi) yatırım maliyetlerinden ve ilgili işletme maliyetlerinden türetilmez. Özellikle birincil tedbirlerin uygulanması durumunda, özel azaltım maliyetlerinin türetilmesi için (bir kg ilgili madde gideriminin maliyeti) geleneksel süreç ile daha düşük emisyon düzeyine sahip yeni süreç arasındaki üretim maliyetleri farkı belirlenmeli ve her iki durumda (MET uygulaması öncesi ve sonrası) üretilen emisyonların hacmi arasındaki fark belirlenmelidir.

Oksijenle ateşlemenin cam fırınlarına uygulandığı bir örnek verilmiştir. Fırının tipik kullanım ömrü boyunca hesaplanan toplam ergitme maliyetleri, fırın ve sınır ekipmanı maliyetlerini, enerji ve oksijen maliyetlerini ve onarımlar veya yenilemeler sırasında gerçekleşen üretim kayıplarını içerir. Bu dönemde gerçekleşen toplam maliyetlerin toplam üretime bölümü, ergitme maliyetini verir.

Oksijenli ateşleme birincil tedbir olarak kabul edilir (NO_x oluşumunun önlenmesi) ve Avrupa ve ABD'de esas olarak NO_x emisyonlarını azaltmak için uygulanır. Bir cam fırınının hava-yakıtlı ateşlemeden (geleneksel) oksijenli ateşlemeye dönüştürülmesi, bir ton cam için farklı bir ergitme maliyeti ile sonuçlanır ve bu, bu dönüşüm sonucu azaltılan her bir ton NO_x başına Euro olarak ifade edilen, NO_x emisyon giderimiyle ilişkilendirilir.

(*) Bertaraf maliyetleri büyük ölçüde ülkeye bağlıdır ve 400 ila 600 Euro/ton atık'a kadar çıkabilir. Maliyetler doğal olarak zaman içinde değişebilir; yakıt maliyetleri gibi bazı fiyat seviyeleri son derece değişkendir. Avrupa'nın farklı bölgelerinde elektrik, iş gücü, atık bertarafı ve su için çok farklı maliyetler görülebilir.

Ayrıca, birincil tedbirlerle emisyon giderimine alternatif olarak elektrikli ergitergitmede; elektrikli fırın ile yeterince uzun bir süre (örneğin 10 veya 15 yıl) boyunca hesaplanan ergitergitme maliyetleri ile hava-gaz, hava-yakıt veya petrol yakıtlı fırınların ergitergitme maliyetleri arasındaki fark da emisyon giderimi ile ilişkilendirilir. Yalnızca tekniğin uygulanmasındaki asıl amacın emisyonların azaltılması olmadığı durumlarda, maliyet farklılıkları giderilen kirleticilere atfedilmez.

8.1.3 Hava kirliliği kontrolüne ait maliyet verileri

Bu çalışmada, sermaye maliyetleri ve işletme maliyetleri, 2007'den önce kurulmuş mevcut tesislere veya cam sanayii HKK sistem tedarikçilerine ait verilerle yapılan tahminler ve hesaplamalara dayanmaktadır. Maliyetler 2007 değerlerini temel almaktadır.

Cam ambalaj, flot camı, sofr gereçleri ve kesintisiz cam elyaf ergitergitme fırınları, olmak üzere birtakım ilgili durumda, farklı HKK ekipman türlerinin maliyetleri, fırının kapasitesi (yayılan baca gazı hacimlerini arıtmaya uygun) ve uzaklaştırılacak kirletici türleri ile ilişkilidir.

Örneğin, kuru yıkayıcı ve torbalı filtre ile donatılmış 300 ton/gün erimiş cam üreten (ortalama olarak) bir cam ambalaj fırını için yıllık maliyetler; faiz, yatırım amortismanı ve işletme maliyetlerini içerecek şekilde belirlenmiştir. Bu maliyetler, HKK'nın bir ton erimiş cam başına maliyetini değerlendirmek için yıllık cam toplam eriyik üretimine bölünebilir. Maliyetler ayrıca, ilgili HKK ekipmanının kullanımı sayesinde bir yılda azaltılan belirli bir kirleticinin toplam emisyon azaltım miktarına da bölünebilir.

Bu nedenle, 4. Bölümde ve 8.1.7 kısmında sunulan hava kirliliği kontrol maliyetleri aşağıda açıklandığı gibi ifade edilebilir.

- Ton erimiş cam başına maliyet (ortalama).
- Belirli bir kirleticinin, uygulanan MET ile azaltılan bir kg emisyonlarının maliyeti. Bazen tek bir entegre HKK sistemi, birkaç kirletici türün emisyonlarını azaltır. Örneğin, bir yıkayıcı artı filtre, SO_x ve toz emisyonlarını azaltacaktır. Bu durumda, maliyetlerin farklı kirletici emisyon azaltımları üzerinden dağılımı açıkça tanımlanır; çünkü 1 kg SO_x emisyon giderimi, 1 kg toz (partikül) emisyon giderimine eşdeğer kabul edilemez (Bkz. 8.1.4 kısmı).
- Sermaye ve işletme için toplam yıllık maliyetler.
- Hava kirliliği kontrolünün yıllık maliyetlerine karşı cam imalatının cirosu.
- Üretilen camın piyasa değerine karşı hava kirliliği kontrolünün yıllık maliyetleri
- Hava kirliliği kontrolünün yıllık maliyetlerine karşı toplam üretim maliyetleri (ergitergitme, şekillendirme, enerji, hammadde, üretim tesisinin tamamı için personel maliyetleri, vergiler).

Bu çalışmada, toplam yıllık HKK maliyetleri, ton erimiş cam başına maliyetler (ölgül maliyetler) ve kg başına emisyon giderimi belirlenmiş ve mevcut tesisler ve yakın zamanda (2007 - 2008) gerçekleştirilen veya planlanan kurulumlar için sonuçlar 4. Bölümde ve 8.1.7 kısmında sunulmuştur. sunulmuştur.

8.1.4 Birleşik sistemlerde HKK maliyetlerinin birden fazla kirletici tür arasında dağılımı

NER'de (Hollanda Emisyon Düzenlemeleri) sunulan yöntem, baca gazlarında bulunan birden fazla kirleticinin emisyonlarında bir azalma sağlandığı durumlarda, hava kirliliği kontrol uygulamalarının ölgül maliyetlerini hesaplamada kullanılacak kriterleri öngörür. Her bir bileşen için azaltılan birim (ton) emisyon başına maliyet, ağırlık faktörleri kullanılarak hesaplanır. Ağırlık faktörleri genellikle genel NER'nin emisyon sınır değerlerini temel alır (NER Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht, InfoMil Eylül 2004). ISBN 90-7-76323-01-1) [155, NER Nisan 2003].

Bu, emisyon sınır değeri $X \text{ mg/Nm}^3$ olan bir bileşenin emisyon gideriminin, emisyon sınırı $Y \text{ mg/Nm}^3$ olan başka bir kirleticiye göre Y/X kat daha önemli olduğu anlamına gelir.

Toz için ağırlık faktörü 10 iken, SO_x için bu faktör 0,5'tir; çünkü mg/Nm^3 cinsinden ifade edilen toz emisyon sınırı, Hollanda yönetmeliği NER'nin genel kuralları uyarınca SO_x sınırından 20 kat daha düşüktür.

Örneğin:

Bu çalışmada, NER'de tanımlanan yöntem kullanılarak, ağırlık faktörü (AF) toz için (Aft) 10 ve SO_x (AFs) için 0,5 kabul edilmiştir.

SO_x azaltmaya özgü maliyetler; bir cam ergitergitme fırınının emisyonlarını azaltmak için uygulanan filtre artı gaz yıkama aşamasının Euro cinsinden toplam (sermaye ve işletim) yıllık maliyetleri (Q), yıllık kg partikül emisyon giderimi (EAt) ve yıllık kg SO_x emisyon giderimi (EAs) temelinde hesaplanır.

kg başına SO_x emisyon giderimi için Euro cinsinden özgül SO_x azaltma maliyetleri = $Q \times \text{AFs} / (\text{AFs} \times \text{EAs} + \text{Aft} \times \text{EAt})$

kg başına toz emisyon giderimi için Euro cinsinden özgül toz azaltma maliyetleri = $Q \times \text{Aft} / (\text{AFs} \times \text{EAs} + \text{Aft} \times \text{EAt})$

NER'de verilen ağırlık faktörleri aşağıdaki gibidir:

- SO_x (SO_2 olarak ifade edilen): 0,5
- Partiküller: 10
- NO_x (NO_2 olarak ifade edilen): 0,5

8.1.5 Ortamlar arası etkiler

Oksijen veya sodyum karbonat, söndürülmüş kireç, sodyum bikarbonat veya amonyak gibi diğer reaktanlar gibi kimyasal maddelerin üretimi ile bağlantılı elektrik tüketimi, dolaylı emisyonlarla ilişkilendirilir. Ayrıca, hava kirliliği kontrol sistemlerinin (örn.3R) uygulanması nedeniyle ekstra fosil yakıt tüketilmesi durumunda, ekstra emisyonlar (esas olarak CO_2) ortaya çıkar.

Tablo 8.1'de, Haziran 2008 tarihli Enerji Verimliliği için Mevcut En İyi Teknikler (ENE) Referans belgesi ve Avrupa'daki (AB-27) elektrik üretimine ilişkin 2005 verilerinden elde edilen, AB'deki elektrik üretim santrallerinden kWh elektrik başına ifade edilen tipik emisyonlar ve elektrik santrallerinden kaynaklanan emisyonlar (Avrupa Çevre Ajansı verileri) gösterilmektedir.

Tablo 8.1'de ise, hava kirliliği kontrol sistemlerini çalıştırmak için kullanılan elektrik, reaktifler ve kimyasal üretimi ile ilgili dolaylı emisyonlar gösterilmektedir.

(Ayrıca bkz. Temmuz 2006 tarihli Ekonomi ve Ortamlar Arası Etkiler (ECM) ve Haziran 2008 tarihli Enerji Verimliliği için Mevcut En İyi Teknikler (ENE) Referans Belgeleri) [124, AK 2008] [156, AK 2006].

Tablo 8. 1: Kimyasal ve elektrik tüketimiyle ilişkili dolaylı emisyonlar

Kimyasal bileşik/enerji taşıyıcısı		NO _x	SO _x	CO ₂	NH ₃
	Birim/ünite	gram	gram	kg	gram
Amonyak	ton	1000	-	1150	1000
Sönmüş kireç	ton	150	-	800	-
Sodyum karbonat	ton	529	-	661	551
Sodyum bikarbonat	ton	330	-	438	350
Elektrik	kwh	1,715	6,24	0,683	-
Oksijen	ton	453	1650	180	-

–: mevcut değil.

- Emisyonlar ton başına veya kwh başınadır.
- Taşıma sırasındaki emisyonlar hariç, yalnızca üretim sırasındaki emisyonlar.

Kaynaklar:

- Elektrik verileri Avrupa Çevre Ajansı'ndan alınmıştır (2003 verileri).
- Amonyak için veriler: Büyük Hacimli İnorganik Kimyasalların (Amonyak, Asitler ve Gübreler) Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler hakkında EKÖK Referans Belgesi, Ağustos 2007.
- Sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat için veriler: Büyük Hacimli İnorganik Kimyasalların (Katılar ve Diğer) Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler hakkında EKÖK Referans Belgesi, Ağustos 2007.
- Söndürülmüş kireç için veriler: Kireçtaşı kalsinasyonundan tahmin edilmiştir; kireçtaşından kaynaklanan CO₂ + kalsinasyon fırınlarının fosil yakıt enerji tüketimi (Avrupa'daki söndürülmüş kireç üreticilerinden birinden alınan bilgiler).

8.1.6 Örnek maliyet hesaplaması

Tablo 8.2'de, 700 ton/gün kapasiteli, gaz yakıtlı bir flot cam fırınına uygulanan Ca(OH)₂ yıkayıcılı bir ESP'den oluşan bir HKK sistemi için, daha önce açıklanan metodoloji ile hesaplanan maliyetlerin bir örneği gösterilmiştir.

Tablo 8. 2: 700 ton/gün kapasiteli gaz yakıtlı flot cam fırını için örnek maliyet hesaplaması (ESP + Ca(OH)₂ yıkayıcı)

Genel bilgi			
Fırın	Yandan ateşlemeli	Rejeneratif	
Cam türü	Flot camı		
Eriyik cam	700	Ton/gün	
Baca gazı akışı kuru	88000	Nm ³ /saat/kuru	%8 O ₂
Baca gazı akışı	98000	Nm ³ /saat/yaş	%8 O ₂
Yakıt	gaz		
Sıcaklık azaltma sistemi	350 - 400	°C	
Sermaye giderleri (değer yılı: 2007)			
Mühendislik giderleri	180000	Euro	
Devreye alma maliyetleri ve eğitim	31000	Euro	2 kişi/ay
Su soğutma sistemi	75000	Euro	
Filtre (ESP) boru tesisatı ve izolasyon yatırımı	2180000	Euro	
Fan için yatırım	400000	Euro	
Yıkayıcı için yatırım	250000	Euro	
Enjektör kireci/Ca(OH) ₂ /soda yatırımı		Euro	Yıkayıcıya dahil
Filtre tozu giderme ekipmanı için yatırım	120000	Euro	
Filtre tozu ve SO _x izleme için yatırım	65000	Euro	
Bacalar ve bağlantılardaki değişiklikler için yatırım	515200	Euro	
Nakliye masrafları ekipman parçaları	125000	Euro	
Hizmetten çıkarma maliyetleri (değer yılı: 2007)	145800	Euro	Yatırımların %6'sı filtre + yıkayıcı
Toplam sermaye maliyetleri	4087000	Euro	
Elektrik arzına yatırım	340000	Euro	

Temel ve binalar, saha hazırlığı	272500	Euro		
Kontrol ekipmanı		Euro		Diğer öğelere dahil
Toplam temel/inşaat işleri	612500	Euro		
Toplam yatırımlar	4699500	Euro		
Faiz oranı	6	%		
Kurulum ömrü	10	Yıl		
Yıllık sermaye maliyetleri	603206	Euro		
İşletme maliyetleri				
Absorpsiyon maddesi (sönmüş kireç)	117815	Euro/yıl	3,31	ton/ton giderilen SO ₂ (%35 verimlilik)
Elektrik	239148	Euro/yıl	10,29	kwh/ton cam (fanlar, ESP, kontrol ekipmanı)
Basıncılı hava (6 bar)	55448	Euro/yıl	400	Nm ³ /s basıncılı hava, 6 bar'da
İşçilik maliyetleri	30000	Euro/yıl	0,75	kişi/yıl
İzleme sistemi kalibrasyonu ve bakımı	10000	Euro/yıl		
Filtre bezi değişimi	0	Euro/yıl		
Atık bertarafı	389779	Euro/yıl	974,45	ton/yıl
Su	67452	Euro/yıl	7,7	m ³ /saat
Yıllık toplam işletme maliyetleri	909641	Euro		
Yıllık toplam maliyetler	1512848	Euro		
Özel maliyetler				
Toplam ton erimiş cam	255500	ton erimiş cam/yıl	5,92	Euro/ton erimiş cam
Toplam net ton cam	229950	net ton cam/yıl	6,58	Euro/ton cam ürün
Ağırlık faktörü SO ₂	0,5			
Ağırlık faktörü toz	10			
Başlangıç SO _x içeriği	800	mg/Nm ³		
HKK'den sonra SO _x içeriği	536	mg/Nm ³		
Başlangıç toz içeriği	140	mg/Nm ³		
HKK'den sonra toz içeriği	5	mg/Nm ³		
Filtreden geçen baca gazlarının hacimsel akışı	88000	Nm ³ /saat/kuru, %8 O ₂		
SO _x miktarının (SO ₂ olarak) giderimi	203,5	ton/yıl	0,66	Euro/kg SO₂
Toz azaltım miktarı	104,1	ton/yıl	13,24	Euro/kg toz
Elektrik tüketimiyle ilişkili emisyonlar (elektrik santralindeki dolaylı emisyonlar)				
NO _x			5,2	ton/yıl
SO _x			19,0	ton/yıl
CO ₂			2082	ton/yıl
Ca(OH)₂ kullanımıyla ilişkili emisyonlar				
NO _x			0,1	ton/yıl
CO ₂			539	ton/yıl
<i>Kaynak: [94, Beerens - HKK Değerlendirmesi 2008]</i>				

8.1.7 Cam ergitergitme fırınlarında kullanılan HKK sistemlerine ait maliyet verileri

Bu kısımda, çeşitli hava kirliliği kontrol (HKK) sistemlerinin cam ergitergitme fırınlarına uygulanmasıyla ilgili tahmini maliyetlerin bir özeti sunulmuştur.

Tablo 8.3'te, farklı ergitergitme fırınlarına uygulanan bir kuru yıkama aşaması ile birlikte bir elektrostatik toz tutucu kullanımına ilişkin tahmini maliyetler rapor edilmiştir. Tabloda sunulan veriler, hem 2007'den önce uygulanan HKK sistemlerine, hem de 2007 ve 2008'de uygulanan sistemlere ilişkindir. Tablo, toplam yatırım maliyetlerini (ikinci sütun), yıllık yatırım maliyetlerini (amortisman ve faiz), işletme maliyetlerini ve üç cam sektöründeki filtre tozu geri dönüşümü olan veya olmayan farklı fırınlara özgü maliyetleri göstermektedir. Ayrıca baca gazından uzaklaştırılan kg SO₂ veya kg toz başına maliyetler de sunulmuştur. Bu maliyetler birçok faktöre bağlıdır ve aynı tip cam ve erimiş cam tonu başına temizleme ve filtreleme maliyetleri, farklı baca gazı hacimleri, sönmüş kireç ilavesi ve ekipmanın aşırı boyutlandırılması (HKK'yi en yüksek üretim hızlarında dahi çalıştırabilmek amacıyla) nedeniyle temizleme ve filtreleme maliyetleri farklı olabilir.

Toplam maliyetin bir kısmının toz giderme ile, diğer kısmının ise SO_x emisyonlarının azaltılması ile ilişkili olduğu varsayılmaktadır.

Tablo 8.4'te, farklı cam sektörleri ve fırın kapasiteleri için bir torbalı filtre artı bir yıkama aşaması (kuru ve yarı kuru temizleme) ile çalışan bir hava kirliliği kontrol sisteminin uygulanmasına ilişkin tahmini maliyetlerin bir özeti sunulmaktadır.

Tablo 8.5'te, cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarından salınan SOX, HF, HCl veya bor bileşikleri ve selenyum bileşiklerinin uzaklaştırılması için uygulanan farklı mevcut yöntemlere genel bir bakış verilmiştir. Farklı DeSO_x (SO_x giderme) teknikleriyle ilişkili performans, avantajlar, dezavantajlar, sınır koşulları ve maliyetler özetlenmiştir. Maliyet verileri, bir ton erimiş cam için verilmiştir ve flot camı veya cam ambalaj fırınlarındaki uygulamalara atıfta bulunur. Filtre tozunun tamamının harman reçetesine geri dönüşümü veya bir çöp sahasına harici bertarafı olmak üzere iki farklı seçenek sunulmuştur. Bu iki değer arasındaki fark, filtre tozunun atılmasına ilişkin tipik maliyetlere dayanmaktadır. Bertaraf artı nakliye masrafı, bir ton toz başına 400 Euro'ya kadar çıkabilir. Tablo 8.5'te belirtilen maliyetlerde, AB-27'deki ortalama durum (2007 yılı) dikkate alınmaktadır. Bu maliyetlerin farklı Üye Devletler arasında ve zaman içinde değişebileceğine dikkat edilmelidir (örneğin, enerji fiyatları oldukça değişkendir).

Toz ve SO_x'in birlikte azaltılması için uygulanan farklı HKK sistemlerine özgü maliyetlerin bir özeti Tablo 8.6'da sunulmuştur.

Tablo 8. 3: Cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarına uygulanan elektrostatik toz tutucu + kuru yıkamalı hava kirliliği kontrol sistemleri için tahmini maliyetler

HKK yöntemleri ve uygulamaları ^{(1) (2)}	Euro cinsinden toplam yatırım	Yatırım/yıl. Euro	Euro/yıl cinsinden işletme	Özel maliyetler: Euro/erişik tonu	Δ toz ton/yıl	Δ SO _x ton/yıl	Özel maliyetler: Euro/kg SO ₂	Özel maliyetler: Euro/kg toz
ESP + Ca(OH) ₂ 'li kuru yıkayıcı								
Flot cam fırınları - filtre tozu geri dönüşümlü 500 ton/gün	3904240	500000	376000	4,8	-78	-153	0,51	10,2
Flot cam fırınları - filtre tozu geri dönüşümlü 700 ton/gün	4700000	603200	488000	4,27	-104	-203	0,48	9,55
Flot cam fırınları - filtre tozu geri dönüşümlü 900 ton/gün	5460000	700700	575 000	3,88	-130	-254	0,45	8,93
Flot cam fırınları - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 500 ton/gün	3904240	500000	688000	6,51	-78	-153	0,69	13,87
Flot cam fırınları - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 700 ton/gün	4700000	603200	896000	5,87	-104	-203	0,66	13,12
Flot cam fırınları - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 900 ton/gün	5460000	700700	1080000	5,44	-130	-254	0,63	12,5
Flot cam fırınları - filtre tozunun tamamının bertarafı ve 1,5 kat fazla soğurucu ile 700 ton/gün	4700000	603200	1146000	6,81	-104	-308	0,73	14,56
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 300 ton/gün (petrol yakıtlı)	2380000	310000	185000	4,52	-25,6	-86,7	0,84	16,5
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 450 ton/gün (gaz yakıtlı)	3170000	415000	237000	3,96	-38	-59	0,8	15,43
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 600 ton/gün (petrol yakıtlı)	3400000	443250	341000	3,58	-60	-170	0,58	11,4
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 133 ton/gün (petrol yakıtlı), kurulum yılı: 2007	3065000	404000	166000	11,74	-25	-77	0,99	19,9
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 435 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007	3850000	506000	317000	5,2	-71	-98	0,54	10,75
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 740 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007	4850000	632600	440000	3,96	-98	-135	0,51	10,24
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 1275 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007	7000000	933500	655000	3,41	-178	-245	0,41	8,28
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 200 ton/gün	2200000	288000	201000	6,7	-18,7	-40	1,19	23,8
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 300 ton/gün (petrol yakıtlı)	2380000	311400	379000	6,31	-30,8	-86,7	0,98	19,63
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 450 ton/gün	3170000	415000	370000	4,77	-38	-59	0,95	19,1
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 600 ton/gün (petrol yakıtlı)	3400000	443250	673000	5,1	-60	-170	0,81	16,24
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 560 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007 - 2008	4650000	605500	580000	5,8	-59	-103	0,93	18,3
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 560 ton/gün (petrol yakıtlı), kurulum yılı: 2007 - 2008	4650000	605500	897000	7,36	-67	-233	0,95	19,1

HKK yöntemleri ve uygulamaları ^{(1) (2)}	Euro cinsinden toplam yatırım	Yatırım/yıl. Euro	Euro/yıl cinsinden işletme	Özel maliyetler: Euro/eriyik tonu	Δ toz ton/yıl	Δ SO _x ton/yıl	Özel maliyetler: Euro/kg SO ₂	Özel maliyetler: Euro/kg toz
ESP + Ca(OH)₂'li kuru yıkayıcı								
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 133 ton/gün (petrol yakıtlı), kurulum yılı: 2007 - 2008	3065000	403000	322000	14,96	-27	-76	1,16	23,3
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 435 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007 - 2008	3850000	505000	534500	6,55	-71	-98	0,68	13,7
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 740 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007 - 2008	4850000	632600	743000	5,1	-98	-135	0,66	13,2
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 1275 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007 - 2008	7000000	933500	1194000	4,57	-178	-245	0,56	11,2
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 35 ton/gün	1190000	156500	57000	16,7	-4,63	-4,8	2,2	43,9
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının geri dönüşümüyle 35 ton/gün	1119000	156000	43500	15,65	-4,63	-4,8	2,05	41,1
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 180 ton/gün	1960000	256000	247000	7,66	-22,7	-56,2	0,99	19,73
ESP + NaHCO₃'lü kuru yıkayıcı								
Flot cam fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 700 ton/gün (gaz yakıtlı)	4719500	605920	1370000	7,75	-104	-414	0,79	15,9
Flot cam fırını - filtre tozunun tamamının geri dönüşümüyle 700 ton/gün (gaz yakıtlı)	4719500	605920	515000	4,39	-104	-414	0,49	9,81
Cam ambalaj fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 300 ton/gün, %67 SO ₂ absorpsiyonu (petrol yakıtlı)	2400000	312800	600000	8,33	-30,8	-232	1,07	21,5
Cam ambalaj fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 300 ton/gün, %50 SO ₂ absorpsiyonu (petrol yakıtlı)	2400000	312800	491000	7,38	-30,8	-173	1,02	20,36
⁽¹⁾ ton/gün = günlük ton. ⁽²⁾ Hesaplama için kullanılan emisyon verileri şunlardır: - toz: 10 ila 20 mg/Nm³'lük tipik değerler, 5 ila 10 mg/Nm³'lük optimize edilmiş değerler - SO₂: Ca(OH)₂ ile %25 ile 33 arasındaki tipik giderme verimliliği. Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]								

Tablo 8. 4: Cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarına uygulanan torbalı filtreli + yıkamalı hava kirliliği kontrol sistemleri için tahmini maliyetler

HKK yöntemleri ve uygulamaları ⁽¹⁾ (2) (3)	Euro cinsinden yatırım	Yatırım/yıl. Euro	Euro/yıl cinsinden işletim ⁽¹⁾	Özel maliyetler: Euro/eriyik tonu	Δtoz ton/yıl	ΔSO _x ton/yıl	Özel maliyetler: Euro/kg SO ₂	Özel maliyetler: Euro/kg toz
Torbalı filtre + kuru yıkayıcı								
Flot camı - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 500 ton/gün	2670000	344300	930000	6,98	-80	-159	0,72	14,42
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 200 ton/gün	1211000	158600	168000	4,63	-17,2	-19,9	0,9	17,93
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 300 ton/gün	1435500	188400	234000	3,86	-20,3	-26,5	0,98	19,57
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 450 ton/gün	1588300	208000	268000	2,9	-35,3	-43,4	0,64	12,72
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 600 ton/gün	1895000	249000	344000	2,7	-43,3	-53,3	0,64	12,9
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 210 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2007	1960000	260300	191000	5,89	-25	-29	0,85	17
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 210 ton/gün (petrol yakıtlı), kurulum yılı: 2007	1960000	260300	227400	6,36	-28	-87	0,76	15,11
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 270 ton/gün (petrol yakıtlı), kurulum yılı: 2008	3036000	406500	365000	7,83	-47	-146	0,71	14,21
Cam ambalaj - filtre tozu geri dönüşümüyle 290 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2005	1860000	247000	235000	4,55	-28,5	-33	0,8	16
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 200 ton/gün	1211000	158600	220000	5,2	-16	-19,1	1	20,04
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 300 ton/gün	1435 500	188400	298000	4,44	-20,5	-23,6	1,04	20,78
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 450 ton/gün	1588900	208000	380000	3,6	-35	-41	0,79	15,74
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 600 ton/gün	1895000	249000	488000	3,37	-45,5	-52,6	0,77	15,3
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 210 ton/gün, kurulum yılı: 2007	1960000	260300	271000	6,93	-25	-29	1	20,1
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 290 ton/gün (gaz yakıtlı), kurulum yılı: 2005	1860000	247000	326000	5,41	-28,5	-33	0,95	19
Cam ambalaj - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 290 ton/gün, kurulum yılı: 2005 (petrol yakıtlı)	1860000	247000	526000	7,3	-32	-99	1,16	23,14
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının geri dönüşümüyle 30 ton/gün	771000	99600	64500	12,85	-5,32	-3,25	1,49	30
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 30 ton/gün	771000	99600	77200	13,84	-5,32	-3,25	1,61	32,2

HKK yöntemleri ve uygulamaları ⁽¹⁾ (2) (3)	Euro cinsinden yatırım	Yatırım/yıl. Euro	Euro/yıl cinsinden işletim ⁽¹⁾	Özel maliyetler: Euro/eriyik tonu	Δtoz ton/yıl	ΔSO _x ton/yıl	Özel maliyetler: Euro/kg SO ₂	Özel maliyetler: Euro/kg toz
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının geri dönüşümüyle 180 ton/gün	900000	115000	174000	4,36	-8	-4,3	1,77	35,5
Sofra gereçleri fırını - filtre tozunun tamamının geri dönüşümüyle 200 ton/gün	905200	120000	155000	3,76	-11,4	-6,1	1,17	23,5
E-desteklemeli borosilikat camlı sofra gereçleri fırını - 150 ton/gün	1150000	154000	141000	5,4	-68			
E-cam fırınları, oksijen yakıtlı - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 100 ton/gün (tahmini)	1224000	160000	281000	11	-34	-39	0,61	12,3
Torba filtre + yarı kuru yıkayıcı								
Flot camı - filtre tozu bertarafı olmadan 500 ton/gün, çıkış emisyonları: 400 mg SO _x /Nm ³ (gaz yakıtlı)	4500000	586000	700420	7,05	-68,3	-285	0,78	15,58
Flot camı - filtre tozu bertarafı olmadan 500 ton/gün, çıkış emisyonları: 750 mg SO _x /Nm ³ (petrol yakıtlı)	4500000	586000	756860	7,36	-82,6	-655	0,58	11,65
Flot camı - filtre tozu bertarafı olmadan 900 ton/gün (gaz yakıtlı)	7345000	963270	947000	5,82	-122	-508	0,65	12,96
Flot camı - filtre tozunun tamamının bertarafı ile 500 ton/gün (gaz yakıtlı)	4500000	586000	1165000	9,59	-69,4	-290	1,04	20,88
Flot camı - filtre tozunun tamamının bertarafı ile 500 ton/gün (petrol yakıtlı)	4500000	586000	1793 000	13,03	-83,8	-665	1,02	20,3
Flot camı - filtre tozunun tamamının bertarafı ile 900 ton/gün (gaz yakıtlı)	7345000	963270	1774000	8,33	-121	-508	0,93	18,58
Cam ambalaj fırını - filtre tozunun bertarafı olmadan 350 ton/gün (gaz yakıtlı)	2304500	300400	377000	5,3	-23,2	-100,7	1,2	24,02
Cam ambalaj fırını - filtre tozunun tamamının bertarafıyla 350 ton/gün (gaz yakıtlı)	2304500	300400	535000	6,54	-23,2	-100,7	1,48	29,62
⁽¹⁾ Filtre tozu bertarafı maliyetlerinin 400 Euro/ton olduğu varsayılmaktadır. ⁽²⁾ ton/gün = günlük ton. ⁽³⁾ Hesaplama için kullanılan emisyon verileri şunlardır: - toz: ESP için 10 ila 20 mg/Nm³'lük tipik değerler, 5 ila 10 mg/Nm³'lük optimize edilmiş değerler - SO₂: Ca(OH)₂ ile %25 ile 33 arasındaki tipik giderme verimliliği. Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]								

Tablo 8. 5: Cam ergitergitme fırınlarının baca gazlarından salınan SO_x, HCl, HF ve diğer gaz halindeki kirleticilerin uzaklaştırılmasına yönelik yöntemlerin karşılaştırılması

Yıkayıcı tipi	Yıkama sistemi								
	Kuru					Yarı kuru			Yaş
Soğurucu madde	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Kalsine edilmemiş trona Na ₂ H(CO ₃) ₂ 2H ₂ O	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂ süspansiyonu	Na ₂ CO ₃ çözeltisi	Na ₂ CO ₃ çözeltisi	Ca(OH) ₂ süspansiyonu
Filtre tipi	Torbalı filtre	Torbalı filtre	ESP ⁽¹⁾	ESP ⁽¹⁾	ESP ⁽¹⁾	Torbalı filtre	Torbalı filtre	ESP ⁽¹⁾	
Cam sanayiinde uygulama	Yüksek	Çok düşük	Çok düşük	Çok yüksek	Orta	Düşük	Düşük	Düşük	Düşük
Tipik sıcaklık aralığı (°C)	140-180	140-180	300-350	300-400	250-350	160-180	180-200	250-400	60
n=1 stokiometrik dozlamada % olarak SO ₂ giderme verimliliği	10 ila 25	75	75-90	30-40	>60	Mevcut değil	70-90		>90
Filtre tozu bileşimi ⁽²⁾	CaSO ₃ , CaSO ₄ , CaF ₂ , CaCl ₂ , CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ , Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ , NaCl	Na ₂ SO ₄ , NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂ , Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂ , Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaCl	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂
Avantajlar	Basit işlem, sadece baca gazının soğutulması; torbalı filtre toz giderme ve reaksiyon sağlar	Basit işlem, sadece baca gazının soğutulması; torbalı filtre toz giderme ve reaksiyon sağlar	Basit işlem, sadece baca gazının soğutulması; torbalı filtre toz giderme ve reaksiyon sağlar		HCl ve SO _x için yüksek absorpsiyon	Düşük soğurucu madde tüketimi, düşük kimyasal maliyetleri ve ıslak yıkayıcılara kıyasla daha düşük yatırım maliyetleri		İyi absorpsiyon performansı; kuru, ince (öğütülmüş) soda tozu ile iyi verimler elde edilebilir	Düşük soğurucu madde tüketimi, düşük kimyasal maliyetleri
Dezavantajlar	Yüksek uzaklaştırma verimlerinin gerekli olduğu durumlarda yüksek reaktan tüketimi, büyük miktarda filtre tozu üretir	Reaktanın pahalılığı	Avrupa'da reaktan satın alımının zorluğu	Yüksek uzaklaştırma verimlerinin gerekli olduğu durumlarda yüksek reaktan tüketimi, büyük miktarda filtre tozu üretir	Reaktanın pahalılığı	Sprey kurutucunun pahalı olması; torbalı filtre için pahalı malzemelerin gerekliliği; kuru yıkayıcıya kıyasla daha yüksek yatırım maliyetleri	Sprey kurutucunun pahalı olması; torbalı filtre için pahalı malzemelerin gerekliliği; kuru yıkayıcıya kıyasla daha yüksek yatırım maliyetleri	Sistemin kuru yıkayıcılardan daha fazla bakım gerektirmesi	Baca gazının bacadan önce yeniden ısıtılması; atık su ve alçıtaşı kompleksi üretimi ve ekipmanın kirlenmesi; yüksek yatırım maliyeti

Yıkama sistemi									
Yıkayıcı tipi	Kuru					Yarı kuru			Yaş
Soğurucu madde	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Kalsine edilmemiş trona Na ₂ H(CO ₃) ₂ 2H ₂ O	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂ süspansiyonu	Na ₂ CO ₃ çözeltisi	Na ₂ CO ₃ çözeltisi	Ca(OH) ₂ süspansiyonu
Filtre tipi	Torbalı filtre	Torbalı filtre	ESP ⁽¹⁾	ESP ⁽¹⁾	ESP ⁽¹⁾	Torbalı filtre	Torbalı filtre	ESP ⁽¹⁾	
Önemli parametreler	Çiy noktasına yakın sıcaklıklarda performans artar; Ca(OH) ₂ 'nin dozajı, granülometrisi ve BET yüzey alanı	Sodyum bikarbonat dozlaması ve granülometrisi	<30 mikron trona dozlaması ve granülometrisi; baca gazına karıştırma tercih edilir	Yüksek sıcaklıklar (>350 °C) tercih edilir; Ca(OH) ₂ 'nin granülometrisi ve BET yüzey alanı	Sodyum karbonat dozlaması ve granülometrisi; baca gazına karıştırma	Kireç dozlama	Sodyum karbonat dozlama	Sodyum karbonat dozlama	Sıvı ve gaz sıcaklığı arasındaki temas; süspansiyonun bazikliği
Ton erimiş cam başına maliyetler (Euro-ton), filtre tozu geri dönüşümüyle	2,5-3	3,5	3,5	3	4	Bilinmiyor	5-6	6-8, (tahmini)	10-16
Ton erimiş cam başına maliyetler (Euro-ton), filtre tozu geri dönüşümsüz	3-4	4,5	4,5	3,5	5	Bilinmiyor	7-10	8-11	12-20
DeNO _x ile birleştirim imkanı	Gazın yeniden ısıtılması olmadan SCR'nin uygulanma olasılığı yoktur	Gazın yeniden ısıtılması olmadan SCR'nin uygulanma olasılığı yoktur	ESP'nin aşağı akış yönündeki sıcaklık >330 °C olmalıdır	ESP'nin aşağı akış yönündeki sıcaklık >330 °C olmalıdır	ESP'nin aşağı akış yönündeki sıcaklık >330 °C olmalıdır	Gazın yeniden ısıtılması olmadan SCR'nin uygulanma olasılığı yoktur	Gazın yeniden ısıtılması olmadan SCR'nin uygulanma olasılığı yoktur	Sadece ESP'nin 350 - 360 °C'nin üzerinde çalıştığı durumlarda SCR ile birleştirim	Gazın 60°C'den 350°C'ye yeniden ısıtılması olmadan SCR'nin uygulanma olasılığı yoktur

⁽¹⁾ Elektrostatik toz tutucu.

⁽²⁾ Cam tipine bağlıdır; kristal cam üretiminde CaSeO₃, CaSeO₄, Na₂SeO₃ ve Na₂SeO₄ oluşturulabilir.

Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]

Tablo 8. 6: Toz ve SO_x'in azaltılması için cam fırınlarına uygulanan farklı hava kirliliği kontrolü (HKK) tekniklerine özel maliyetlere genel bakış

Cam türü	Üretim	Toz + SO _x azaltma								
		ESP + kuru yıkayıcı (CaOH) ₂ filtre tozu geri dönüşümü	ESP + kuru yıkayıcı (CaOH) ₂ filtre tozu bertarafı	ESP + kuru yıkayıcı (NaHCO ₃) filtre tozu geri dönüşümü	ESP + kuru yıkayıcı (NaHCO ₃) filtre tozu bertarafı	Torbalı filtre + kuru yıkayıcı Filtre tozu geri dönüşümü	Torbalı filtre + kuru yıkama filtre tozu bertarafı	Torbalı filtre + yarı kuru yıkama filtre tozu geri dönüşümü	Torbalı filtre + yarı kuru yıkama filtre tozu bertarafı	Yaş yıkayıcı
	Ton erimiş cam/gün	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam	Euro/t cam
Flot	500	4,8	6,51			6		7-7,35	9,6 (gaz)-13 (petrol)	
Flot	700	4,27	5,87	4,39	7,75		6,98			
Flot	900	3,88	5,44					5,82	8,33	
Ambalaj	100-150	11	14							
Ambalaj	200					4,63-5,9	4,8-7			
Ambalaj (petrol yakıtlı)	200					6,4	9,25			
Ambalaj (petrol yakıtlı)	300-350	4,52-6	6,31-7,5		7,38-8,33	3,86-5	4,11-7,3	5,3	6,54	
Ambalaj	450	3,96-5,2	4,77-6,5			2,9	3,6			
Ambalaj (petrol yakıtlı)	600	3,58	5,1			2,7	3,37			
Ambalaj (gaz yakıtlı)	740	4	5,1							
Ambalaj (gaz yakıtlı)	1240	3,4	4,6							
Ambalaj (petrol yakıtlı)	1240	3,7	6,2							
Sofra gereçleri	30-35	15,65	16,7			12,85	13,84			
Sofra gereçleri	180-200		7,66			3,75-4,35				
E-cam oksitli	100-120						11			14,4 -21,5(*)
E-cam hava yakıtlı	100-120									15,7 -20,5(*)

(*) Filtre tozu bertarafı için ton başına 400 Euro için daha yüksek değer.
Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]

NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik mevcut tekniklerle ilgili maliyet verilerinin bir karşılaştırması, tümü soda-kireç camı üreten düz, ambalaj ve ev eşyaları camı üreten tesisler için çeşitli örneklerin verildiği aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Ayrıca bir kesintisiz cam elyaf fırını ve özel bir cam tesisi için de tahmini veriler belirtilmiştir.

[bookmark109](#) Tablo 8.7’de, NO_x emisyonlarının azaltılması için çeşitli birincil tedbirlerin uygulanmasıyla ilgili tahmini doğrudan (iç) ve dolaylı (dış) emisyon miktarlarıyla birlikte, maliyet (yatırım ve işletme) örnekleri gösterilmiştir. Özellikle aşağıda verilen durumlar değerlendirilmiştir.

- Düşük enjeksiyon hızlarına sahip ayarlanabilir brülörlerin; yakıt püskürtücünün farklı brülör açılara, brülör ile bek taşı arasında hava sızdırmazlığına sahip ayrı püskürtücülere bölünmesinden ve gereksiz fazla yanma havasını önlemek için oksijen içeriği kontrolünden oluşan temel düşük NO_x tedbirlerinin uygulanması. Maliyet verileri, fırın tasarımında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın uygulanan düşük NO_x tedbirlerine atıfta bulunur.
- Ayarlanabilir brülörlerin yanı sıra fırın tasarımının uyarlamalarından oluşan genişletilmiş düşük NO_x tedbirlerinin uygulanması, özellikle alev bölmesinin yüksekliğinin artırılması, portnın büyütülmesi, port eğimlerinin ve brülörlerin konumlarının değiştirilmesi.
- Oksi-fuel ateşlemeyle ergitme tekniğinin kullanılması. Tahmini maliyet verileri, geleneksel rejeneratif fırınlar (flot cam ve cam ambalaj için) veya reküperatif fırınlar (sofra gereçleri, kesintisiz cam elyaf ve özel cam için) ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Ergitme maliyetlerinin karşılaştırılması büyük ölçüde oksijen fiyatlarına bağlıdır; bu fiyatlar oksijen boru hattının erişilebilirliği, oksijen kapasitesi talebi (talep düştüğünde oksijen fiyatları artar), yerel elektrik fiyatı ve oksijen tedarikçisi ile cam şirketi arasında yapılan sözleşme gibi çeşitli faktörlerden etkilenebilir. Maliyet verileri gösterge niteliğindedir ve oksi-yakıtla ve hava-yakıtla çalışan fırınları karşılaştırırken ergitme maliyetlerindeki farklılıklar, birçok (yerel) koşuldaki etkilenebilir.

NO_x emisyonlarının azaltılmasına yönelik ikincil tedbirlerin uygulanmasıyla ilgili tahmini maliyetlerin (yatırım ve işletme) bir özeti Tablo 8.8’de sunulmuştur. Farklı cam sektörleri ve fırın kapasiteleri için SCR, SNCR ve 3R tekniklerinin uygulanmasına ilişkin maliyet verileri verilmiştir.

Tablo 8. 7: NO_x emisyonlarının azaltılması için birincil tedbirlerin uygulanmasıyla ilişkili tahmini örnek maliyetler ve ilgili doğrudan ve dolaylı emisyonlar

NO _x emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirler	Maliyetler ⁽¹⁾						İç emisyonlar	Dış emisyonlar (dolaylı)	
	Yatırım	Yatırım	İşlem	Özel maliyetler	Δ NO _x	Özel maliyet	Δ CO ₂	Δ NO _x	Δ CO ₂
HKK teknikleri/uygulamaları	Euro	Euro/yıl	Euro/yıl	Euro/ton eriyik	Ton/yıl	Euro/kg NO _x	Ton/yıl	Ton/yıl	ton/yıl
Temel düşük NO_x tedbirleri									
Flot camı - 500 ton/gün gaz yakıtlı, 1050 mg/Nm ³ NO _x 'e kadar	660000	89600	64000	0,84	-337	0,45			
Flot camı - 500 ton/gün petrol yakıtlı, 900 mg/Nm ³ NO _x 'e kadar	1010000	137000	79000	1,14	-337	0,64			
Flot camı - 900 ton/gün gaz yakıtlı, 1050 mg/Nm ³ NO _x 'e kadar	810000	110100	81000	0,58	-555	0,35			
Cam ambalaj - 200 ton/gün gaz yakıtlı, arkadan ateşlemeli	230000	31250	24000	0,59	-60,3	1,07			
Cam ambalaj - 300 ton/gün gaz yakıtlı, arkadan ateşlemeli	285000	38700	26000	0,59	-60,3	1,07			
Cam ambalaj - 450 ton/gün gaz yakıtlı, 1050 - 1100 mg/Nm ³ NO _x 'e kadar, arkadan ateşlemeli	330000	44850	31500	0,47	-90,5	0,84			
Cam ambalaj - 450 ton/gün gaz yakıtlı, yandan ateşlemeli	700000	95000	72500	1,02	-130	1,3			
Sofra gereçleri - 186 ton/gün temel + birincil tedbirler	123000	16712	30711	0,7	-82,3	0,58			
Genişletilmiş düşük NO_x tedbirleri									
Flot camı - 700 ton/gün	2660000	361000	64000	2,33	-551	0,77			
Flot camı - 900 ton/gün gaz yakıtlı, 900 mg/Nm ³ NO _x 'e kadar	3810000	517660	81000	1,82	-906	0,66			
Cam ambalaj - 200 ton/gün, 750 mg/Nm ³ NO _x 'e kadar	700000	95108	24000	1,63	-82	1,45			
Cam ambalaj - 300 ton/gün	885000	120240	26000	1,34	-112	1,31			
Cam ambalaj - 450 ton/gün	1080000	147000	31500	1,09	-168	1,06			
Sofra gereçleri - Ek ısıtma için ek elektrik dâhil 150 ton/gün	1000000	135900	163500	8	-711	0,42			
Rejeneratif fırınlara kıyasla, oksi-fuel ateşlemede ekstra maliyetler/tasarruflar ⁽²⁾									
Flot camı - 500 ton/gün, silika kemer	-7500000	-1290000	2540000	6,83	-410	3,03	-6683	48	16900
Flot camı - 500 t/gün, ergitergitmeli döküm refrakter tavan	-3250000	-714000	2785000	11,35	-410	5,04	-6683	48	16900

NO _x emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tedbirler	Maliyetler ⁽¹⁾						İç emisyonlar	Dış emisyonlar (dolaylı)	
	Yatırım	Yatırım	İşlem	Özel maliyetler	Δ NO _x	Özel maliyet	Δ CO ₂	Δ NO _x	Δ CO ₂
HKK teknikleri/uygulamaları	Euro	Euro/yıl	Euro/yıl	Euro/ton eriyik	Ton/yıl	Euro/kg NO _x	Ton/yıl	Ton/yıl	ton/yıl
Cam ambalaj - 150 ton/gün, 0,06 Euro/Nm ³ O ₂ , dayanıklı silika kemer	-2051100	-276633	444700	3,07	-49,3	3,41	-1227	7,6	3027
Cam ambalaj - 225 ton/gün, 0,06 Euro/Nm ³ O ₂ , dayanıklı silika kemer	-2740000	-369000	637990	3,27	-73,9	3,64	-1942	11,1	4444
Cam ambalaj - 450 ton/gün, 0,06 Euro/Nm ³ O ₂ , dayanıklı silika kemer	-4743000	-639400	1490000	5,18	-147	5,76	-2097	21	8380
Rekuperatif fırınlara kıyasla, oksî-fuel ateşlemede ekstra maliyetler/tasarruflar ⁽²⁾									
Sofra gereçleri - 30 ton/gün, 0,06 Euro/Nm ³ O ₂	500000	56406	-245400	-17,26	-19,2	-9,86	-2600	1,8	716
Sofra gereçleri - 30 ton/gün, 0,08 Euro/Nm ³ O ₂	500000	56406	-175000	-10,79	-19,2	-6,16	-2600	1,8	716
Sofra gereçleri - 30 ton/gün, 0,10 Euro/Nm ³ O ₂	500000	56406	-103660	-4,32	-19,2	-2,47	-2600	1,8	716
Sofra gereçleri - 30 ton/gün, 0,12 Euro/Nm ³ O ₂	500000	56406	-32754	2,16	-19,2	1,23	-2600	1,8	716
Sofra gereçleri - 30 ton/gün, 0,14 Euro/Nm ³ O ₂	500000	56406	38152	8,63	-19,2	4,93	-2600	1,8	716
Sofra gereçleri - 70 ton/gün, 0,10 Euro/Nm ³ O ₂	-2254000	-265972	582590	12,76	-40	7,97	-2449	5,2	2064
E-cam fırını - 100 - 120 ton/gün, 0,08 Euro/Nm ³ O ₂	1500000	117340	-248400	6,19	-80,3	3,1	-5387	8,86	3530
⁽¹⁾ Aksi belirtilmedikçe, maliyet verilerinin hesaplanmasında kullanılan ulaşılabilir emisyon seviyeleri aşağıdaki gibidir: - Birincil düşük NO_x ölçümleri için 1100 - 1400 mg/Nm³ NO_x (temel, tasarım değişikliği olmaksızın); birincil düşük NO_x ölçümleri için flot cam fırınlarında tasarım değişiklikleri ile 900 - 1100 mg/Nm³ NO_x ve cam ambalaj fırınlarında 750 mg/Nm³ NO_x - Cam ambalaj fırınlarında oksî-yakıt için 0,5 - 0,9 kg/t cam NO_x; oksî yakıtlı flot camı fırınları için 1,5-2 kg/t cam NO_x; nitrat içermeyen özel camlar için 1-1,5 kg/t cam NO_x. ⁽²⁾ Oksî-fuel fırınlar ile geleneksel hava-yakıtlı fırınlar arasındaki maliyet farkları, yenileme veya fırın inşaatı sırasında üretimin durdurulmasından kaynaklanan ekonomik farkları içerir.									
Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]									

Tablo 8. 8: NO_x emisyonlarının azaltılması için ikincil tedbirlerin uygulanmasına ilişkin tahmini örnek maliyetler

NO _x emisyonlarının azaltılmasına yönelik ikincil tedbirler HKK teknikleri/uygulamaları	Yatırım Euro	Yatırım Euro/yıl	İşlem Euro/yıl	Özel maliyetler Euro/ton cam	Δ NO _x ton/yıl	Özel maliyetler EUR/kg NO _x
SCR işlemi						
Flot camı - 500 ton/gün	2065000	270000	331500	3,29	-804	0,75
Flot camı - 650 ton/gün petrol yakıtlı	2303000	301400	332000	2,67	-692	0,91
Flot camı - 650 ton/gün gaz yakıtlı	2303000	301400	370000	2,82	-946	0,71
Flot camı - 700 ton/gün	1880000	248000	283000	2,07	-708	0,75
Flot camı - 900 ton/gün	3112000	391000	450000	2,57	-1255	0,67
Cam ambalaj - 200 ton/gün	840000	110000	77500	2,56	-110	1,7
Cam ambalaj - 300 ton/gün	1036000	134700	98800	2,13	-159	1,47
Cam ambalaj - 450 ton/gün	1270000	166300	135500	1,84	-228	1,32
Sofra gereçleri fırını - 35 ton/gün (varsayımsal durum)	490000	64200	38500	8,03	-23,6	4,34
Sofra takımı fırını - 100 ton/gün rejeneratif: 1500 ila 450 mg/Nm ³ NO _x (varsayımsal durum)	758000	98300	80800	4,9	-130	1,38
3R prosesi						
Flot camı - 500 ton/gün petrol yakıtlı	307400	41800	1057000	6,02	-598	1,84
Flot camı - 500 ton/gün gaz yakıtlı	307400	41800	1085000	6,17	-769	1,47
Flot camı - 650 ton/gün petrol yakıtlı	360400	49000	1224338	5,37	-726	1,75
Flot camı - 650 ton/gün gaz yakıtlı	360400	49000	1309662	5,52	-985	1,38
Cam ambalaj - 200 ton/gün	185500	25200	303200	4,5	-127	2,6
Cam ambalaj - 300 ton/gün	238500	32400	405350	4	-169	2,6
Cam ambalaj - 600 ton/gün	281000	46800	779000	3,73	-330	2,48
SNCR prosesi						
Cam ambalaj - 200 ton/gün reküperatif	684000	93000	73850	2,28	-65	2,56
Cam ambalaj - 350 ton/gün reküperatif	900000	122000	97000	1,88	-101	2,16
Özel cam (tahmini) - 5 adet oksijenle çalışan fırın (toplam kapasite 250 ton/gün)	785000	107000	199000	3,34	-290	1,06
E-camı elyafları, 100 ton/gün (kurgusal)	615000	83 500	66930	4,12	-55,2	2,73
Not: - Aksi belirtilmedikçe, maliyet verilerinin hesaplanmasında kullanılan ulaşılabilir emisyon seviyeleri aşağıdaki gibidir: SCR için 400 - 500 mg/Nm ³ NO _x ; SNCR için 450 - 500 mg/Nm ³ NO _x ve 3R için <500 mg/Nm ³ NO _x Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]						

Karşılaştırmalı çalışmada değerlendirilen her bir DeNO_x (NO_x giderme) tekniğinin uygulanmasıyla bağlantılı olarak, erimiş camın tonu başına Euro cinsinden ek maliyetlerin bir özeti Tablo 8.9'da verilmiştir.

Tablo 8. 9: DeNO_x tekniklerinin uygulanmasıyla ilgili ek maliyetler (Euro/ton erimiş cam cinsinden)

Fırın tipi	Üretim	SCR	3R	SNCR ⁽¹⁾	Temel düşük NO _x tedbirleri ⁽²⁾	Genişletilmiş düşük NO _x tedbirleri ⁽³⁾	Silika kemerli oksideleme ⁽⁴⁾	ErgitErgitmeli döküm tavanlı oksideleme ⁽⁴⁾
	Ton / gün	Euro/ton erimiş cam						
Flot	500	3,3	6 - 6,25		0,85 - 1,1		6,83 (0,06)	11,35 (0,06)
Flot	700	2,6 - 2,9	5,25 - 5,6			2,33		
Flot	900	2,6			0,58	1,82		
Ambalaj	150						3,07 (0,06)	5,28 (0,06)
Ambalaj	200 - 225	2,56	4,5	2,28	0,76	1,63	3,27 (0,06)	5,39 (0,06)
Ambalaj	300	2,13	4	1,88	0,59	1,34		
Ambalaj	450	1,84			0,47	1,09	5,18 (0,06)	7,16 (0,06)
Ambalaj (yandan ateşlemeli)	450		3,73		1,02	1,5 (Tahmini)		
Sofra gereçleri (reküperatif)	30 - 35	8					-4,32 (0,10)	
Sofra gereçleri (rejeneratif)	70						12,76 (0,10)	
Sofra gereçleri (rejeneratif)	100	4,9						
Sofra gereçleri (rejeneratif)	150					8 (Yüksek elektrikli destekleme)		
Sofra gereçleri (rejeneratif)	190				0,7			
Özel cam (oksidelemeli)	250			3,34				
Özel cam (rejeneratif)	700			2,8				
E-cam	100			4,1			6,20 (0,08)	

⁽¹⁾ Sadece reküperatif ve oksideleşli fırınlar ve özel rejeneratif fırın durumları için SNCR.
⁽²⁾ Temel düşük NO_x tedbirleri: Ayarlanabilir brülörler, oksijen sensörleri, hava-yakıt kontrolü.
⁽³⁾ Genişletilmiş düşük NO_x tedbirleri: temel tedbirler + port ve alev bölmesi modifikasyonları.
⁽⁴⁾ Oksijen maliyeti parantez içinde verilmiştir (Eurp/m³).
Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]

Farklı hava kirliliği kontrol teknikleri (toz giderme, DeSO_x ve DeNO_x teknikleri) için farklı üretim kapasitelerine ve cam türlerine göre hesaplanan belirli dolaylı emisyonların tahmini, Tablo 8.10'da sunulmaktadır. Dolaylı emisyonlar esas olarak elektrik enerjisinin, yıkama maddelerinin ve reaktanların (amonyak) kullanımı ile katı atık üretimi ile ilişkilidir. Rapor edilen değerler, erimiş camın tonu başına gram veya kilogram olarak verilmiştir.

Tablo 8. 10: Farklı cam fırınları ve farklı hava kirliliği kontrol (HKK) teknikleri için bir ton erimiş cam başına tahmini dolaylı emisyonlar

Üretim	HKK sistemi	Tesis ve yakıt türü	DeNO _x ile azaltılan NO _x	Dolaylı NO _x emisyonları ⁽¹⁾	NO _x gideriminin net etkisi	HKK ile azaltılan toz	DeSO _x ile azaltılan SO _x	Dolaylı SO _x emisyonları ⁽¹⁾	Ekstra CO ₂ salınımı (dolaylı + doğrudan) ^{(2) (3)}	Atık bertarafı	İlgili reaktif ve elektrik tüketimi				
											NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Elektrik
Ton erimiş cam/yıl			g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kwh/t
255500	ESP + kuru Ca(OH) ₂ yıkayıcı	700 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	0	21	-21	407	795	74	10	3,82		2,64			11,94
109500	ESP + kuru Ca(OH) ₂ yıkayıcı	300 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	0	18	-18	237	795	64	8	3,79		2,75			9,95
10950	ESP + kuru Ca(OH) ₂ yıkayıcı	30 ton/gün, sofa gereçleri fırını, gazlı	0	38	-38	423	440	137	17	2,89		2,04			22,28
255500	ESP + kuru NaHCO ₃ yıkayıcı	700 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	0	27	-27	407	1620	90	16	6,09			6,33		14,40
182500	Torbalı filtre + kuru Ca(OH) ₂ yıkayıcı	500 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	0	35	-35	438	871	125	16	4,00		3,05			20,02
109500	Torbalı filtre + kuru Ca(OH) ₂ yıkayıcı	300 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	0	24	-24	192	216	89	10	1,40		1,00			13,68
182500	Torba filtre + yarı kuru yıkayıcı	500 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	0	45	-45	380	1584	165	22	4,97				3,29	26,52
182500	Torba filtre + yarı kuru yıkayıcı	500 ton/gün flot camı fırını, <%1 kükürtlü fuel oil	0	45	-45	459	3644	164	26	11,01				7,54	26,28
40150	Yaş yıkayıcı	100 - 120 ton/gün E-cam fırını, yakıt-hava yakıtlı	0	42	-42	927	548	152	20	20,55		5-6 Söndürülme miş kireç			24,21
40150	Yaş yıkayıcı	100 - 120 ton/gün E-cam fırını, oksijen yakıtlı	0	36	-36	655	448	127	17	20,55		4-5 Söndürülme miş kireç			20,42
328500	SCR	900 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	3820	8	3814			25	4		1,41				3,99
109500	SCR	300 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	1461	7	1452			23	3		0,57				3,20
10950	SCR	30 ton/gün, sofa gereçleri fırını, gazlı	2160	18	2146			62	8		0,84				8,04
36500	SCR	100 ton/gün, sofa gereçleri fırını, gazlı	3562	20	3534				9		1,40				10,68
237250	3R	650 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	3987	0	3987				28						

Üretim	HKK sistemi	Tesis ve yakıt türü	DeNO _x ile azaltılan NO _x	Dolaylı NO _x emisyonları ⁽¹⁾	NO _x gideriminin net etkisi	HKK ile azaltılan toz	DeSO _x ile azaltılan SO _x	Dolaylı SO _x emisyonları ⁽¹⁾	Ekstra CO ₂ salınımı (dolaylı + doğrudan) ⁽²⁾ (3)	Atık bertarafı	İlgili reaktif ve elektrik tüketimi				
											NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Elektrik
Ton erimiş cam/yıl			g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kwh/t
109500	3R	300 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	1534	0	1534				18						
116800	SNCR	320 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	868	3	865			9	2		0,48				
36500	SNCR	100 ton/gün E-cam fırını	1512	6	1507			20	3		0,84				
328500	Düşük NO _x , temel	900 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	1689	0	1689				0						
182500	Düşük NO _x , temel	500 ton/gün, flot camı fırını, petrolü	1847		1847				0						
109500	Düşük NO _x , temel	300 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı							0						
255500	Düşük NO _x , genişletilmiş	700 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	1319		1319										
328500	Düşük NO _x , genişletilmiş	900 ton/gün, flot camı fırını, petrolü	2761		2761				0						
109500	Düşük NO _x , genişletilmiş	300 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	1023		1023				0						
65700	Düşük NO _x , genişletilmiş + elektrik	180 ton/gün, sofra gereçleri, borosilikat cam	10822		10822				171						25,01
182500	Oksi-yakıt	500 ton/gün, flot camı fırını, gazlı	2247	232	2016			844	56						135,56
82125	Oksi-yakıt	225 ton/gün, cam ambalaj fırını, gazlı	901	21	879				30						79,22
10950	Oksi-yakıt	30 ton/gün sofra gereçleri, gazlı	1735	164	1553				-172						95,71
36500	Oksi-yakıt	100 ton/gün, E-cam, gazlı	2200	244	1956			885	-51						110,41
14600	Elektrikli ergitici	40 ton/gün kurşunlu kristal	2438	1295	1144				-15						747,95
10950	Elektrikli ergitici	30 ton/gün kurşunlu kristal	2466	1032	1425				-59						600,00
7300	Elektrikli ergitici	20 ton/gün kurşunlu kristal	1918	1918	0				168						1056,16
127750	Harman ön ısıtıcı	350 ton/gün, cam ambalaj fırını	225	12	214		407	43	-35+5 ⁽³⁾						6,86

⁽¹⁾ Dış emisyonlar elektrik üretimi (AB ortalaması), amonyak üretimi, soda ve sodyum bikarbonat üretimi, sönmüş kireç üretimi ve oksijenden kaynaklanmaktadır.

⁽²⁾ Ekstra CO₂ salınımı, Ca(OH)₂ imalat sürecinden gelen miktarı içermez.

⁽³⁾ Ekstra CO₂ salınımı -30 kg/ton erimiş cam'a eşdeğerdir. Bu değer, baca gazı fanı için ekstra elektrik kullanımından 5 kg/t ve ergitergitme işleminde harman ön ısıtma sayesinde elde edilen yakıt tasarrufundan 35 kg/t değerinde CO₂ emisyon gideriminden elde edilir.

Kaynak: [94, Beerkens - HKK Değerlendirmesi 2008]

8.2 Ek II: Endüstriyel cam fırınları için örnek kükürt dengeleri

4. ve 5. Bölümlerde, tesise özel koşulların belirlenmesi amacıyla veya çeşitli proses seçenekleri arasında yapılacak karşılaştırmaların temeli olarak kükürt dengelerinin kullanımına atıfta bulunulmuştur. Bu ekte, maden pamuğu için basitleştirilmiş bir örnekle birlikte soda-kireç camı için iki kükürt dengesi örneği sunulmuş ve bu örneklerle ilgili konular açıklanmıştır.

Soda kireç camı üretimi

Soda-kireç camı için seçilen örnekler, asit gazı yıkama kullanan bir filtre ünitesinden toplanan tozun tamamen ve kısmen tesis içinde geri dönüştürüldüğü, bir düz cam ve bir cam ambalaj fırını olmak üzere, soda-kireç camı fırınlarıdır. Kullanılan rakamlar yalnızca örnektir ve örneklerde verilen emisyon seviyelerinin MET göstergesi olarak anlaşılması özellikle önemlidir.

Filtre tozunun toplam geri dönüşüm oranı; camın türü, oksidasyon durumu, SO_3 absorbe etme özelliği ve daha genel olarak, fırının çalıştırılma koşullarına (özellikle yakıtın kükürt içeriği) bağlıdır. Bu unsurları açıklamanın en iyi yolu, aşağıdaki şekillerde verildiği gibi tam bir kükürt dengesini incelemek olacaktır. Bir durum özelinde akış, tutarlı bir birim için (SO_2 , SO_3 , veya S) kg/s veya alternatif olarak mg/Nm^3 SO_2 olarak verilebilir, zira belirli bir fırın için konsantrasyon ve kütle akışı arasındaki çevirim katsayısını hesaplamak doğrudan bir yaklaşımdır.

Fırındaki kükürt dengesinin girdileri şunlardır:

- Harman malzemesindeki kükürt girdisi
- Kırıntıdaki kükürt girdisi (tesis içi + yabancı)
- Yakıttaki kükürt girdisi
- Geri dönüştürülmüş filtre tozundaki kükürt girdisi.

Çıktılar ise:

- Cam çekişindeki kükürt
- Baca gazındaki kükürt ($SO_2 + SO_3$)
- Tozun içerdiği kükürt
- Rejeneratörler ve bacalarda biriken tozdaki kükürttür (%1-5 olduğu tahmin edilmektedir).

Genel kükürt dengesi, kirlilik kontrol biriminin, yani baca çıktıları ve filtre tozunun kükürt dengesini de içermelidir. Filtre tozu miktarı cam türü ile uyumlu değilse, tozun en azından bir kısmı için harici bir bertaraf yolu (genellikle katı atık sahası) kullanılmalıdır. Alternatif olarak, atık bertarafını en aza indirmek için yakıtın kükürt içeriği azaltılabilir. Bu ikinci seçenek, hem çevrenin bir bütün olarak korunması için, hem de ekonomik nedenler dolayısıyla, genellikle tercih edilen seçenektir.

Filtre tozunun geri dönüşümü, harman malzemesindeki sodyum sülfat veya kalsiyum sülfatın ikamesi anlamına gelir. Geri dönüştürülebilecek potansiyel toz miktarı, rafinasyon için gerekli sülfat miktarına ve bu sülfatın filtre tozu ile ikame edilme olasılığına bağlıdır. Tozun özellikleri ve geri dönüşüm potansiyeli, çalıştırma koşullarına ve kullanılan emicinin (yıkama materyali) türüne bağlı olacaktır.

Dış kırıntılar ve bunların ortalama bileşimi de SO_3 girdisini etkileyecektir. Fırın petrol yakıtlı ise; petroldeki her %1 kükürt için yaklaşık $1200 mg/Nm^3$ SO_2 ortaya çıkacaktır. Cama absorbe edilebilen kükürt miktarı, bazı indirgenmiş mercekler için neredeyse sıfır iken, oksitleyici kristaller için yaklaşık $500-700 mg/Nm^3$ 'e kadar çıkabilir. Bu rakamlar yalnızca gösterge niteliğindedir.

Şekil 8.1'de, filtre tozunun tamamının fırına, harman bileşimine geri dönüştürüldüğü bir flot camı fırını için bir kükürt dengesi sunulmuştur.

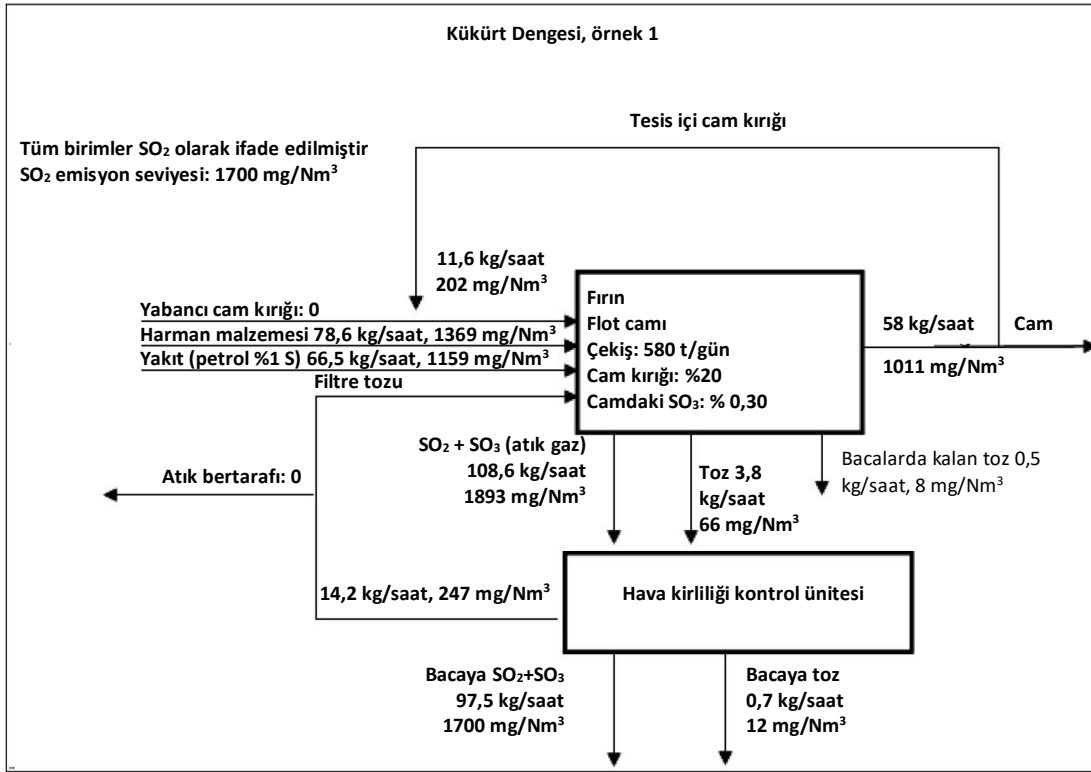
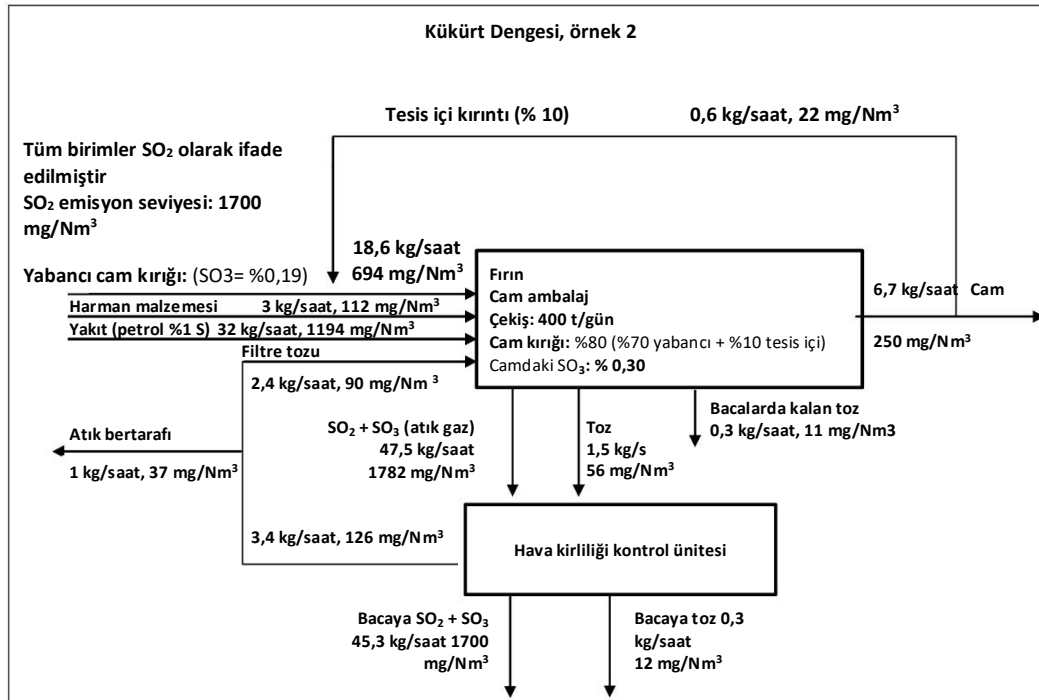


Figure 8. 1: Tam filtre tozu geri dönüşümüne sahip bir flot cam fırını için kükürt dengesi

Şekil 8.2'de, fırındaki harman bileşimine filtre tozunun sadece bir kısmının geri dönüştürüldüğü bir cam ambalaj fırını için bir kükürt dengesi sunulmuştur.



Şekil 8.2 : Kısmi filtre tozu geri dönüşümlü bir cam ambalaj fırını için kükürt dengesi

Maden pamuğu imalatı

Maden pamuğu üretiminde genellikle filtre tozu geri dönüştürülür ve özellikle cam yünü için değişken miktarlarda geri dönüştürülmüş kırıntı kullanılır.

İşlemede kullanılan hammaddeler esasen saftır ve hiçbir kayda değer miktarda kükürt içermez. Tipik kükürt içerikleri Tablo 8.11'de rapor edilmiştir.

Tablo 8. 11: Maden pamuğu üretim sürecinde kullanılan hammaddeler ve tipik kükürt içeriği

Hammadde	Bileşim	Tipik kükürt içeriği (%SO ₃ olarak)	Maks.değerler (tedarikçilerden, 2007 yılı)
Kum	SiO ₂	<0,01	
Soda külü	Na ₂ CO ₃	0,015	0,020
Kireçtaşı	CaCO ₃	<0,01	
Dolomit	MgCO ₃ .CaCO ₃	0,04	0,05
Taş	Alüminosilikat bazlı maden	<0,01	
Borat	Hidrate	0,01	0,011
Kaynak: [136, EURIMA 2008].			

Cam yünü üretimi için kükürt dengesi çalışmasında kullanılan örnek tesis, oksî-gaz yakıtlıdır.

Örnek tesise verilen doğal gaz, neredeyse ihmal edilebilecek kadar düşük bir kükürt içeriğine sahiptir.

Üretim süreci tipik olarak, doğrudan sürece geri dönüştürülen tesis içi kırıntıların %3 - 10'unu üretir. Tesiste kullanılan yabancı cam kırıntıları ya cam ambalaj (şişeler ve kavanozlar) ya da düz camdan (pencere) gelir. Yaygın olarak kullanılan kırıntı türlerinin tipik kükürt içerikleri Tablo 8.12'de sunulmaktadır.

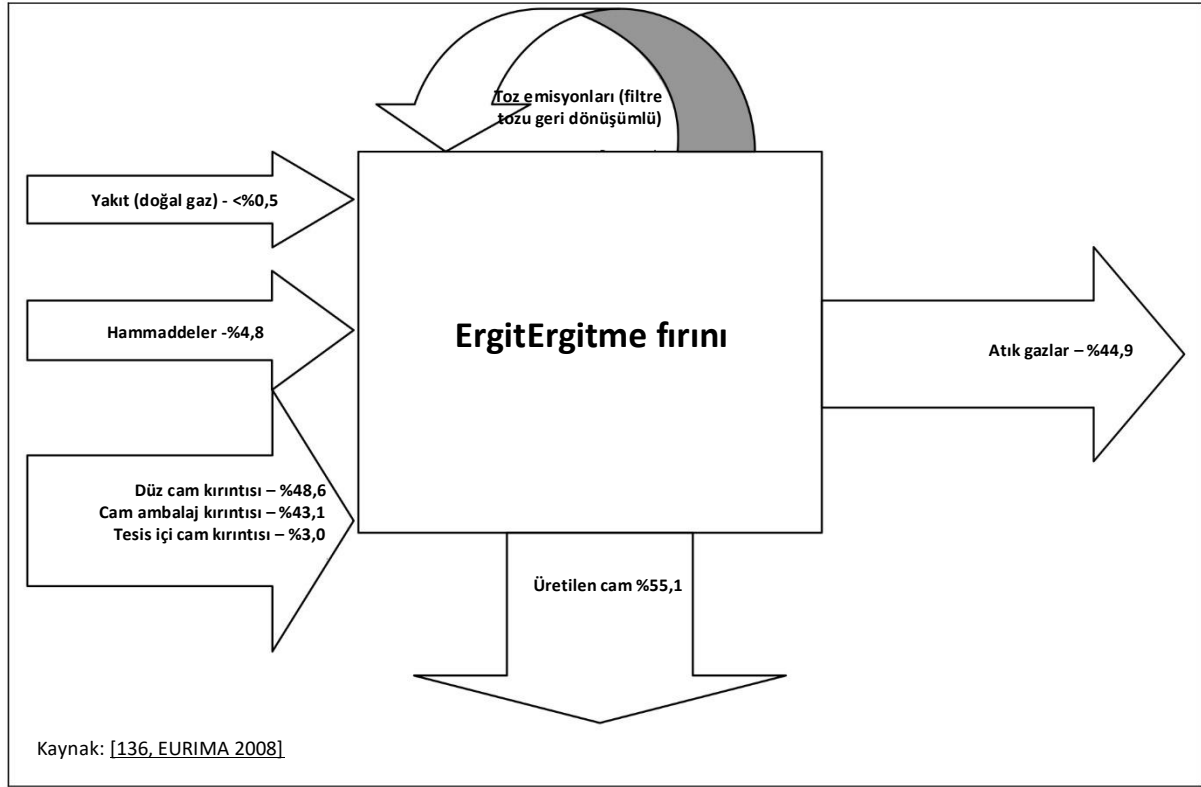
Tablo 8. 12: Yaygın kırıntı türlerinin tipik SO₃ içeriği

Cam kırıntısı türü		Tipik SO ₃ içeriği (%)
Ambalaj	Renksiz	0,18
	Yeşil	0,14
	Bal rengi	0,05
Düz	Renksiz	0,22
Tesis içi		0,044

Örnek tesisteki cam yünü ürünündeki kükürt içeriği %0,044 SO₃'e eşdeğerdir (tesis içi kırıntılar için olduğu haliyle). Cam ambalaj üretiminde ise, cam tarafından absorbe edilebilecek kükürt miktarı, cam eriyiğinin indirgenme-yükseltgenme durumuna bağlıdır ve özellikle camdaki e²⁺/Fe³⁺ iyonlarının oranından etkilenir.

Atık gaz akımından çıkarılan toz, değişken bir kükürt içeriğine sahiptir, ancak tipik SO₃ değeri %7 olarak kabul edilir.

Hammadde ve cam kırıntıları ile fırına giren SO₃ ile cam yünü, filtre tozu ve gaz halindeki SO_x emisyon çıktıları bazında hesaplanan kükürt dengesi, ergitme sürecinin kükürt girdisinin büyük bir kısmının cam kırıntılarından kaynaklandığını göstermektedir. Prosesteki kükürt girdi ve çıktıların nispi oranları Şekil 8.3'te gösterilmektedir.



Şekil 8. 3: Filtre tozu geri dönüşümlü bir oksi-fuel cam yünü fırını için şematik kükürt dengesi

Tesiste ölçülen tipik SO_x emisyon değerleri, 69 ila 143 mg/m^3 SO_2 arasında değişen konsantrasyonlara işaret etmektedir. Tesisin üretim verileriyle gerçekleştirilen kütle dengesinde 77 mg/Nm^3 'lük bir değer öngörülmektedir.

8.3 Ek III: Emisyon İzleme

Emisyonların ölçümüne yönelik genel tavsiyeler, Temmuz 2003 tarihli Genel İzleme İlkeleri (MON) Referans Belgesinde verilmiştir [122, AK 2003].

Bu ekte ise, temsili ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde etmek amacıyla cam imalat proseslerinden kaynaklanan emisyonların ölçümüne dair genel tavsiyeler verilmiştir. Emisyonların ölçümü için birçok ulusal ve uluslararası yöntem ve prosedür uygulanabilir; ancak bunların kullanımında, genel yöntemlerin cam üretim süreci gibi çok özel bir duruma yanlış bir biçimde uygulanması, önemli ölçüde farklı sonuçlara yol açabilir.

8.3.1 Temel Kirleticiler

Cam sanayiinde temel kirlilik kaynağı, ergitme işlemi ile ortaya çıkan atmosferik emisyonlardır. Bununla birlikte, bazı sektörlerde ilave faaliyetler de önemli emisyonlara neden olabilir. Tablo 8.13'te, cam sanayii içerisinde yer alan sektörler için saptanan başlıca kirleticilerin özeti verilmiştir.

Tablo 8. 13: Cam sanayiinde ölçümlerde dikkate alınması muhtemel olan başlıca kirleticiler

Sektör/faaliyet	Kirleticiler
Cam ambalaj	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller
Sıcak kaplama veya işlemler	Toz, organik ve inorganik kalay, HCl, SO _x
Düz cam	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller (renkli camlar için)
Yüzey işlemleri	SO _x
Kesintisiz Cam Elyaf	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, bor bileşikleri
İlave işlemler	Toz, UOB, formaldehit, amonyak, atık su
Cam ev eşyaları	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika, ağır metaller
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller, bor bileşikleri
İlave işlemler	HF, Pb, atık su (parlatma ve frezelemeden çıkan)
Özel cam	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika, ağır metaller
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller, bor bileşikleri
İlave işlemler	Toz, Pb, atık su (parlatma ve frezelemeden çıkan)
Maden pamuğu	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, bor bileşikleri, H ₂ S
İlave işlemler	Toz, UOB, fenoller, aminler, amonyak, formaldehit, UOB, NO _x (kondenzasyon), atık su
Yüksek sıcaklık yalıtım yünleri	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl
İlave işlemler	Toz, lifler, atık su
Fritler	
Gereç yönetimi	Toz, kristal silika, ağır metaller
Ergitme işlemi	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller, bor bileşikleri
İlave işlemler	Toz, atık su

8.3.2 Emisyonların izlenmesi

Emisyon izleme, izin verilen emisyon sınırlarına uyumu sağlamak için dünya çapında kullanılmaktadır. İzleme yöntemi ve sıklığı, doğrulanacak emisyonların kapsamı ve kullanılan kontrol teknolojisi ile ilişkili olmalıdır. En yaygın olarak uygulanan yöntemler şunlardır:

- Azaltma tekniği performansının izlenmesi (örn. torbalı filtrede basınç düşüşü)
- Kirleticilerin sürekli izlenmesi
- Sürekli olmayan kirletici ölçümleri
- Kütle dengesi hesaplaması.

Azaltma tekniği performansının izlenmesi

Genel olarak bu, emisyon izleme için uygulanan asgari gerekliliktir. Bazı durumlarda (örn. iyi oturmuş, kararlı emisyonlar), azaltma tekniği performansının değerlendirilmesi, izin gerekliliğine uygunluğu belirlemek için yeterli olabilir. Birçok durumda ise, azaltma ekipmandaki arıza veya aksaklıkları tespit edebilen otomatik teknikler uygulanır (örn. basınç düşüşü, sıcaklık, pH, vb. ölçümü).

Kirleticilerin sürekli ve/veya süreksiz ölçümü

Emisyon izleme, farklı kirleticilerin ölçümünü veya sonuçların yorumlanmasını ve raporlanmasını etkileyebilecek, ilgili tüm parametrelerin belirlenmesini gerektirir. Düzenlemelere tabi maddelere (toz, NO_x, SO_x, HCl, HF, vb.) ek olarak, salınımın kaynağının karakteristik parametrelerini belirlemek de gereklidir. Örneğin:

- baca gazı hızı ve kütle akışı
- sıcaklık
- nem
- oksijen konsantrasyonu
- karbondioksit konsantrasyonu.

Emisyonların ölçümü, bazıları cam ergitme proseslerinde özellikle önemli olan belirli faktörden etkilenebilir. Çoğu durumda, kritik olarak belirlenen parametreler şunlardır:

- atık gaz sıcaklığı
- tozun boyut dağılımı
- atık gaz hızı
- atık gaz nemi
- kirleticilerin gaz ve partikül formu
- örnekleme zamanı
- referans koşullar.

Atık gaz sıcaklığı

Fırından çıkan baca gazının sıcaklığı (genellikle bacada 100 ila 850° C), ısı geri kazanım sistemine (rejeneratörler, reküperatörler veya gaz söndürme) ve uygulanan azaltma tekniğine bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Daha yüksek sıcaklıklar genellikle reküperatif tipteki fırınlarda ve/veya oksî-fuel ergitmeğe işaret eder. Daha düşük sıcaklıklar ise tipik olarak yüksek oranda seyreltilmiş atık gazlar için geçerlidir (sürekli olmayan fırınlar, elektrikli ergitme tesislerinin tamamı, azaltma ekipmanı bulunan fırınlar, vb.). Atık gaz sıcaklığından kaynaklanan olası ölçüm hataları aşağıda belirtilen yollarla en aza indirilebilir.

- Toz ölçümleri için uygun filtre ve ölçüm uçlarının kullanılması (organik bağlayıcı içermeyen kuvars veya cam elyaf filtreler, yüksek sıcaklık contaları, vb.).
- Filtrelerin yüksek sıcaklıkta kullanılmadan önce uygun şekilde şartlandırılması. Ölçümler sırasında daha fazla ağırlık kaybını önlemek için, 400 - 600 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda önceden gerçekleştirilecek bir şartlandırma aşaması tavsiye edilmektedir.
- Özellikle yüksek nem varlığında ve düşük atık gaz sıcaklıklarında asit ve suyun yoğunlaşmasını önlemek üzere ısıtılmış ölçüm ucu ve filtrelerin kullanılması.

Tozun boyut dağılımı

ErgitErgitme işlemi ile üretilen tozun partikül çapı normalde çok küçüktür (1 µm'den az, genellikle 0,02 - 0,5 µm). Örnekleme sırasında, parçacıklar kolaylıkla topaklanır ve alkali filtreleme malzemeleri kullanıldığında, baca gazında bulunan asit gaz halindeki maddelerle reaksiyona girme eğilimindedir. Bu durumlardan kaçınmak için, örneklemede kimyasal tepkimeye girmeyen filtreler kullanılmalıdır. Partikül maddenin sürekli olarak ölçüldüğü durumlarda, ölçüm ekipmanının optik parçalarından ince partiküllerin giderilmesi zor olabilir ve bu da hatalı toz konsantrasyonu sonuçlarına yol açar. Uygun bir temizleme sistemi kullanılmalıdır.

Atık gazın hızı

Cam ergitergitme işleminden salınan toz son derece ince partiküllerden oluşmasına rağmen, ölçümler izokinetik olarak yapılmalıdır. Kanalin geometrisi ve örnekleme noktasının konumu, baca gazı hızının doğru biçimde ölçülmesine imkan verecek şekilde seçilmelidir.

Atık gazın nemi

Atık gazlardaki su yüzdelерinin yüksek olması, oksi-fuel ergitergitme ve hava/gazlı fırınlarda, azaltma ekipmanından önce soğutucu olarak su kullanıldığı durumlarda oldukça yaygındır. Örnekleme sırasında yoğunlaşmayı önlemek için gazın çiğlenme noktası belirlenmelidir. Gaz halindeki kirleticiler yoğunlaşma riski olan durumlarda, özellikle SO₃ bakımından zengin baca gazları söz konusu ise, ısıtılmış ölçüm uçları kullanılarak ölçülmelidir. Bu aynı zamanda, kesintisiz cam elyaf, cam elyaf vb. gibi ıslak yıkayıcıların kullanıldığı bazı diğer süreçler için de geçerlidir. Suyun yoğunlaşmasının meydana geldiği durumlarda, ortaya çıkan sıvı, kükürt oksitler gibi gaz halindeki kirleticilerin olası emilimini belirlemek için kontrol edilmelidir.

Kirletici maddelerin gaz ve partikül formu

Bazı kirleticiler atmosfere hem partikül hem de gaz halinde salınabilir. ErgitErgitme sürecinde kullanılan bazı maddeler için bu durum geçerlidir; örneğin belirli bor bileşikler (özellikle borik asit), selenyum, arsenik ve cıvanın (aydınlatmadan gelen cam kırıntıları kullanılıyorsa) yanı sıra, cam ambalaj sıcak kaplama faaliyetlerinde kullanılan kalay klorür de bu maddeler arasındadır. Böyle durumlarda, hatalı değerlendirmelerden kaçınmak için, örnekleme cihazı hem partikül hem de gaz halindeki bileşenlerin aynı anda toplanmasını sağlayan kombine bir sistemle donatılmış olmalıdır.

Borosilikat cam üretiminde, baca gazlarındaki gaz ve partikül formdaki bor emisyonlarının etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını sağlamak için her iki türde de ölçümleri gerekli olabilir (bkz. 4.4.1 kısmı). Özellikle düşük alkali içerikli borosilikat camların üretiminde yüksek buhar basıncı ve düşük yoğunlaşma sıcaklığı (160 °C'nin altında) nedeniyle esasen gaz halindeki borik asit atmosfere salınır.

Toplam bor emisyonları için özel bir ölçüm, atık gazlarda partikül halinde bulunan bor ile ergitergitme fırınında uygulanan hava kirliliği azaltma tekniğinden (örneğin filtre + yıkama sistemi) kaçmış olabilecek gaz halindeki bor bileşikler arasında ayırım yapılmasına olanak sağlar.

Toplam bor emisyonları, suyla doldurulmuş darbe ölçerlerden oluşan bir absorpsiyon sistemine bağlı kuvars sonda yoluyla, baca gazlarının bir kısmından numune alınarak ölçülebilir. Sonda, bağlantı boruları ve darbe ölçerler, daha sonra kalan borlu yoğunlaşmış malzemeyi geri kazanmak için suyla iyice durulanır. Ardından, darbe ölçerlerden gelen soğurma çözeltisi ve numune alma dizisinin yıkama suları bor tespiti için analiz edilebilir.

Standart yöntemlerle ölçülen (örneğin, kuvars membranlı filtre üzerinde izokinetik örnekleme) toplam

bor emisyon konsantrasyonu ile partikül madde emisyonlarında belirlenen bor arasındaki fark, ölçüm noktasındaki gaz halindeki bor bileşiklerini temsil eder.

Selenyum emisyonlarının ölçümünde, atık gazlarda bulunan hem katı hem de gaz formlarının absorpsiyonunun garanti altına alınması için tasarlanması gereken özel bir numune alma yönteminin kullanımı söz konusudur. Camın renklendirilmesi veya renginin giderilmesi için kullanılan selenyum, 60 - 100 °C'ye kadar düşük yoğunlaşma sıcaklıkları olan aşırı uçucu bileşiklerin oluşumu nedeniyle, yüksek oranda gaz emisyonuna neden olabilir.

Selenyum emisyonları için önerilen bir örnekleme yöntemi, Uluslararası Cam Komisyonu, Teknik Komite 13 tarafından geliştirilmiştir (yayınlanmış olduğu kaynak: Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology, A Kısmı, Cilt 47, Sayı 2, Nisan 2006) [162, ICG-TC 13 2006].

Örnekleme zamanı

Rejeneratif fırınlar söz konusu olduğunda, temsili bir numunenin alınması için yeterli bir örnekleme süresi gerektiren standart prosedürlere ek olarak, iyi bir uygulamada rejeneratörlerin ters çevrilme döngüsü de dikkate alınmalıdır. ErgitErgitme işleminden kaynaklanan emisyonlar, bölmelerin döngü sırasında artan sıcaklık döngüsü ile de önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Karşılaştırılabilir sonuçlara sahip ölçümler yapmak için, örnekleme süresi çift sayıda ateşleme döngüsünü kapsamalıdır. Aynı durum azaltma ekipmanının temizlik döngülerinde de sorun teşkil edebilir.

Referans koşullar

Normalde, konsantrasyona ilişkin verilen emisyon sınır değerleri, 0°C, 101,3 kPa ve bazı diğer özel koşulları belirtir, örneğin:

- sürekli ergitergitme fırınları: Hacmen %8 oksijen, kuru
- sürekli fırınlar: Hacmen %13 oksijen, kuru
- diğer emisyon kaynakları: oksijen için düzeltme yok.

Kirletici konsantrasyonu, genellikle emisyon sınır değerlerine uyumu göstermek için kullanılır. Bunun nedeni, doğrudan ölçülebilmesi ve genellikle emisyon faktörleri veya belirli emisyonlarda (örn. bir ton erimiş cam başına kg emisyon) gerekenin aksine, üretim süreciyle ilgili ek bilgilere ihtiyaç duyulmamasıdır. Bununla birlikte, emisyon sınır değerleri bazen hem konsantrasyon (mg/Nm³) hem de emisyon faktörü (kg/ton cam, kg/s, g/s) olarak verilir. Bu durum, özellikle yüksek oranda seyreltilmiş atık gazlar (örn. elektrikli fırınlar) ve genellikle oksijen yüzdelerinin yüksek olduğu durumlar (oksi-fuel yakma, oksijenle zenginleştirilmiş hava-yakıtlı yakma) için geçerlidir. % 8 veya 13 oksijene düzeltme, ergitergitme işlemi için oksijen yerine fosil yakıtlar ve hava kullanan fırınlarla karşılaştırılamayacak sonuçlar verecektir. Bu özellikle oksi-fuel yakmadan kaynaklanan baca gazlarının, oksijenle zenginleştirilmiş hava-yakıtlı fırınların ve fazla yanma havasının tek bir tesiste birleştirildiği ve bunun sonucunda yüksek bir oksijen konsantrasyonunun (>%15) ortaya çıktığı cam frit sanayii için geçerli bir durumdur. Bu durumda, emisyon faktörlerinin kullanılması veya gerçek ölçüm koşullarına (%15 O₂) daha yakın bir oksijen yüzdesine referans verilmesi daha uygun olacaktır.

Sürekli izleme

Sürekli izleme uygulaması genellikle ergitergitme fırından kaynaklanan emisyonlarla sınırlıdır, zira ergitergitme fırını en ilgili kütle akışıdır ve nispeten sabit bir emisyon seviyesine sahiptir. Emisyonların sürekli izlenmesi "yerinde" veya ekstraktif (çıkarıcı) ölçüm ekipmanı ile gerçekleştirilebilir. "Yerinde" ölçümler, baca gazı sıcaklığında ve örnekleme noktası neminde, baca boyunca gerçekleştirilir. Ekstraktif ölçümler ise, baca gazı numunesinin koşullandırılması ve ardından kuru gazdaki kirletici konsantrasyonunun belirlenmesi temeline dayanır. Her iki sistem de sürekli olmayan ölçüm yöntemleriyle gerçekleştirilen dikkatli bakım ve periyodik kalibrasyon uygulaması gerektirir. Özellikle "yerinde" ölçüm araçları yapılan ölçümler, fırında üretilen farklı cam türleri (yeşil, kahverengi, yarı beyaz) ve yanma için kullanılan yakıt türüne göre değişen, renk ve partikül boyutu dağılımından etkilenebilir.

Sürekli olarak ölçülebilen parametreler ve önerilen yöntemler aşağıdaki Tablo 8.14'te verilmiştir.

Tablo 8. 14: Sürekli izleme teknikleri

Parametre	Yöntem
Oksijen	Paramanyetik, zirkonyum oksit hücre
Toz	Işık opaklığı, ışık saçılması
Azot oksit (NO)	Kızılötesi veya UV fotometri, kimyasal ışıldama (kemilüminesans)
Azot oksitler (NO + NO ₂)	Kızılötesi veya UV fotometri, dönüştürücü (NO ₂ 'den NO'ya) ile donatılmış kimyasal ışıldama (kemilüminesans)
Kükürt dioksit	Kızılötesi veya UV fotometri
Karbonmonoksit	Kızılötesi fotometri
Toplam hidrokarbonlar	Alev iyonizasyon dedektörü (FID)

HF ve HCl gibi diğer kirleticiler, sırasıyla potansiyometri ve kızılötesi fotometri veya potansiyometrik yöntemle sürekli olarak ölçülebilir. Ancak, bu ölçümlerin gerçekleştirilmesi kolay değildir ve analizörlerin sık sık yeniden kalibrasyonunu gerektirir. Bu kirleticilerin sürekli olarak izlenmesi, harman bileşiminde klor ve flor bileşiklerinin kullanımını gerektiren ve azaltma sisteminden sonra emisyonların ortaya çıktığı belirli cam prosesleri için uygun olabilir.

Bazı Üye Devletlerin ulusal mevzuatında, Tablo 8.15'te verilen eşik değerlerinin üzerinde olan kütle akışları için uygulanacak emisyonların sürekli izlenmesi gerekli kılınmıştır.

Diğer Üye Devletlerde ise farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Örneğin, Hollanda'da, sürekli izleme (izleme rejimi) gerekliliği, kullanılan kontrol teknolojisi ile birlikte artırılmamış emisyonun boyutunu temel almaktadır. 'Hata emisyonu' ile kütle akışı kontrol değerinin oranı, tesiste uygulanacak izleme rejimini (5 farklı kategori mevcuttur) ve belirlenen kategori için gerekli izleme türünü (örn. frekans, sürekli veya periyodik ölçümler) belirler[172, NeR, Nisan 2003].

Tablo 8. 15: Emisyonların sürekli izlenmesinde kütle akış eşikleri

Madde	Kütle akış eşiği (kg/saat)		
	Almanya	Fransa	Avusturya
Toz	3	>2,5 ≤50 ⁽¹⁾ >50 ⁽²⁾	3
Kükürt dioksit	30	20	15
Azot oksitler (NO ₂ olarak)	30	20	5
Karbon monoksit, yakma verimliliğinin değerlendirilmesi	5		
Karbon monoksit, diğer tüm durumlar	100		
HF cinsinden flor bileşikleri	0,3	1	
HCl cinsinden klor bileşikleri	1,5	20	
Amonyak		10	
⁽¹⁾ En az bir optik aletle (örn. opasimetre) tozun sürekli olarak izlenmesi gerekir.			
⁽²⁾ Tozun ağırlıksal bir yöntemle sürekli olarak izlenmesi gereklidir.			

Süreksiz ölçümler

Farklı kirleticileri (genellikle toz, SO_x, HCl, HF, metaller) uygun filtreleme malzemeleri ile ya da adsorbe edici çözeltiler içerisinde ayırarak veya sürekli ekstraktif ölçüm aletleri (örn. NO_x, SO₂, vb. için kızılotesi veya UV fotometri) kullanarak ayrı ölçümler gerçekleştirilebilir. Gerekli ölçümlerin sayısı genellikle emisyon değişkenliği ve kontrol edilecek işlemin uzunluğu temelinde belirlenir. Bazı durumlarda işlem, yalnızca tek bir ölçüm yapılmasının mümkün olduğu, sınırlı bir süre içinde gerçekleştirilir (örn. hammaddelerin taşınması). Fakat çoğu durumda, emisyonların kararlı olması özelliğine sahip sürekli bir proses için minimum üç ayrı ölçüm, değişken emisyonlar için ise beş ayrı ölçüm gereklidir. Özel durumlarda 8 - 10 kadar ölçüm gerekli olabilir.

Emisyonların süreksiz izlemesi için kullanılan en yaygın yöntemlerin genel bir göstergesi Tablo 8.16'da verilmiştir.

Tablo 8. 16: Sürekli olmayan izleme teknikleri

Kirletici / Parametre	Yöntem
Toz	Filtreleme ve gravimetrik tayin
Azot oksitler (NO + NO ₂)	Kızılotesi veya UV fotometri, kimyasal ısladama Uygun çözelti içinde absorpsiyon ve kimyasal tayin (kolorimetri, iyon kromatografisi, vb.)
Sülfür dioksit (SO ₂)	Kızılotesi veya UV fotometri
Kükürt Oksitler (SO ₂ + SO ₃)	Uygun çözelti içinde absorpsiyon ve kimyasal tayin (titrasyon, iyon kromatografisi, ICP)
Kükürt Oksit (SO ₃)	Uygun çözelti içinde absorpsiyon ve kimyasal tayin (titrasyon, iyon kromatografisi)
Metaller (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb, vb.)	Filtreleme ve/veya uygun çözelti içinde absorpsiyon. AAS, ICP ile tayin
Se halinde selenyum (partikül + gaz)	Uygun çözelti içinde absorpsiyon ve kimyasal tayin (örn. HGAAS, ICP, vb.) [162, ICG-TC 13 2006]
Bor bileşikleri (partikül + gaz)	Suda absorpsiyon ve kimyasal tayin (ICP, titrasyon, kolorimetrik)
HCl cinsinden klorürler	Filtreleme ve uygun çözelti içinde absorpsiyon. İyon kromatografisi ile tayin, titrasyon
HF cinsinden florürler	Filtreleme ve uygun çözelti içinde absorpsiyon. İyona özel elektrot ile tayin, iyon kromatografisi
Hidrojen sülfür	Filtreleme ve uygun çözelti içinde absorpsiyon. İyon kromatografisi, kolorimetrik tayin veya geri titrasyon
Formaldehit	Uygun çözelti içinde absorpsiyon. Kolorimetrik veya HPLC tayin
Fenol	Uygun çözelti içinde absorpsiyon. Gaz (sıvı) kromatografisi veya kolorimetrik tayin
Amonyak	Uygun çözelti içinde absorpsiyon. İyon kromatografisi, kolorimetrik veya iyon seçici elektrot tayini
Aminler	Uygun çözelti veya silika jel içinde absorpsiyon. GC, HPLC veya GC-MS tayini
Uçucu organik bileşikler	Alev iyonizasyon dedektörü (FID)
Oksijen	Paramanyetik, zirkonyum oksit hücre
Karbonmonoksit	Kızılotesi fotometri
Karbondioksit	Kızılotesi fotometri
Not: Listelenen teknikler örnektir ve Cam Sanayiindeki farklı kirleticilerin belirlenmesi için kullanılabilecek tüm analitik teknikleri kapsamamaktadır.	

Genel olarak, ilgili emisyon parametrelerinin çoğunu ölçmek için ulusal ve uluslararası düzeyde standartlaştırılmış yöntemler (ISO, CEN, VDI, EPA, vb.) mevcuttur. Ancak, bazı maddeler için bu tür standartlaştırılmış bir metodoloji yoktur. Birçok organik madde (fenol, formaldehit, aminler, vb.) için geçerli olan bu durum, aynı zamanda atmosfere hem partikül hem de gaz halinde salınabilen birçok inorganik bileşik için de geçerlidir (örn. bor bileşikleri). Daha önce de belirtilmiş olduğu gibi, yaygın olarak uygulanan iyi uygulamalarda, çeşitli fraksiyonları tanımlamak ve ölçmek için kombine örnekleme (filtrasyon ve adsorpsiyon) yapılır.

Kütle dengesi hesabı

Bazı durumlarda ve belirli kirleticiler için, kütle dengesinin hesaplaması proses emisyonlarının iyi bir şekilde değerlendirmesini sağlayabilir. Bir proses adımındaki (örneğin ergitme prosesi) belirli bir madde girdisi ve çıktısı, gerçekleşen herhangi bir kimyasal ve/veya fiziksel değişiklik ile birlikte biliniyorsa, kütle dengesi, emisyonları değerlendirmede nicel bir yöntem olarak kullanılabilir. Örneğin, ergitmeden kaynaklanan SO₂, opal cam üretiminde HF veya bronz veya kristal cam üretiminde selenyum için durum böyle olabilir (kükürt dengeleri için bkz. 8.2 kısmı). Kütle dengesi hesaplaması genellikle ölçülen emisyon seviyesiyle karşılaştırma yapmak için kullanılır.

Ölçüm sonuçlarının yorumlanması ve raporlanması

Emisyon ölçümlerinin sonuçlarının raporlanmasında yorumlamalara dair makul bir standart sağlamak için asgari olarak aşağıdaki bilgilerin sağlanması önemlidir:

- uygulanan izleme yöntemi
- uygulanan yöntemin kesinliği
- ilgili çalışma koşulları (proses verileri)
- referans koşullar (ölçüm noktasındaki sıcaklık, nem, vb.)
- tüm ayrı ölçümlerin sonuçları, veya sürekli izleme durumunda tüm yarım saatlik, saatlik veya günlük ortalama konsantrasyonların frekans dağılımı.

Katı ve gaz emisyonlarının izlenmesi için uygulanan her yöntemin farklı bir tespit sınır değerine sahip olduğu ve ölçüm belirsizliğinin, ölçülecek konsantrasyon aralığına bağlı olarak değiştiğine dikkat edilmelidir.

Emisyon ölçümlerinde ölçüm sonucu için belirsizlik, ölçülen maddenin içinde bulunduğu kesin olarak belirtilebilecek bir aralık tanımlamalıdır. Bu amaçla, bağıl genişletilmiş belirsizliğin belirlenmesi, normalde birleştirilmiş standart belirsizlik yerine değerlendirilir.

Önemli sayıdaki durumda, hava emisyonlarının ölçümü için uygulanan standart yöntemler, ölçülecek konsantrasyonla aynı büyüklükte olabilecek bir belirsizlik sunar.

Diğer durumlarda ise ölçülecek konsantrasyon, uygulanan ölçüm yönteminin tespit sınır değerine yakındır.

Emisyon ölçümlerinin sonuçları yorumlanırken tüm bu hususlar etraflıca değerlendirilmelidir.

Standart yöntemlerde, belirli bir konsantrasyon aralığı için hesaplanan tespit sınır değerleri ve belirsizlikler belirtiliyor olabilir; bununla birlikte, çoğu durumda, bu değerlerin ölçüm için kullanılan özel numune alma dizisi ve ekipmanı temel alınarak, ölçüm yöntemlerini uygulayan laboratuvar tarafından belirlenmesi/hesaplanması gerekir.

Örnek olarak, Avrupa standardı ISO/IEC 17025 kapsamında akredite iki uzman laboratuvar tarafından gözlemlenen belirsizlikler ve tespit sınır değerleri Tablo 8.17 ve Tablo 8.18'de sunulmuştur.

Tablo 8.17'de, esas olarak azaltılmamış baca gazlarında gerçekleştirilen emisyon ölçümleriyle ilgili tespit sınır değerleri sunulmuştur.

Tablo 8. 17: Cam ergitme fırınlarından kaynaklanan emisyonların ölçümü için tespit sınır değerleri örneği

Parametre	Tespit sınır değeri ⁽¹⁾	
Toz	4,8 ⁽²⁾	mg/Nm ³
Azot oksitler (NO _x)	2-4	Ppm
Kükürt oksitler (SO ₂)	0,16	mg/Nm ³
Karbonmonoksit (CO)	2 - 4	Ppm
Klorürler (HCl olarak ifade edilen)	1	mg/Nm ³
Florürler (HF olarak ifade edilen)	0,05	mg/Nm ³
UOB (C olarak ifade edilen)	0,2 (0 - 20 aralığı)	mg/Nm ³
Pb	0,032	mg/Nm ³
Cr	0,011	mg/Nm ³
Cu	0,010	mg/Nm ³
Ni	0,032	mg/Nm ³
As	0,002	mg/Nm ³
Cd	0,003	mg/Nm ³
Hg	0,001	mg/Nm ³
⁽¹⁾ Değerler, cam ergitme fırınlarından çıkan katı ve gaz emisyonlarının ölçümü için gözlemlenen tipik rakamlardır.		
⁽²⁾ Tespit sınır değeri, azaltılmamış baca gazlarındaki toz ölçümleri içindir.		
Kaynak: [118, 2007 MET-Ref Revizyonu için CTCV Verileri] [175, CTCV 2010]		

Tablo 8.18’de, ağırlıklı olarak azaltılmış baca gazlarında gerçekleştirilen emisyon ölçümleri için sertifikalı laboratuvar tarafından uygulanan, belirtilen yöntemler için belirlenen tespit sınır değerleri ve genişletilmiş belirsizlikler sunulmaktadır.

Tablo 8. 18: Cam sanayiinde emisyonların ölçümü için tespit sınır değerleri ve genişletilmiş belirsizlikler örneği

Parametre	Yöntem	Tespit sınırı	Genişletilmiş belirsizlik
HF	ISO 15713: 2006 Potansiyometri	0,1 mg/Nm ³	Tahmini 1mg/Nm ³
HCl	UNI EN 1911-1/2/3: 1998 AgNO ₃ ile titrasyon	0,1 mg/Nm ³	Tahmini 1mg/Nm ³
SO _x	UNI EN 14791: 2005 İyon kromatografisi, titrasyon	1 mg/Nm ³	0,126 C* + 8,5 mg/Nm ³
NO _x	UNI EN 10878: 2000 NDIR, NDU, kimyasal ışıltama	1 mg/Nm ³	%4 ölçülen değer
NO _x	UNI EN 14792 kimyasal ışıltama	1mg/Nm ³	0,041 C*+ 2,8 mg/Nm ³
Toz	UNI EN 13284-1: 2001 Gravimetrik	kuru gazlar için 0,3 mg/m ³ Su buharına doymuş gazlar için 2 mg/m ³	4 mg/Nm ³
O ₂	EN 14789: 2006 Paramanyetik	%0,2 tam ölçek değeri (%0,05 O ₂)	0,041 C**+ hac. %0,1 O ₂
Not: - C* = mg/Nm ³ cinsinden ölçülen konsantrasyon. - C** = % O ₂ cinsinden ölçülen konsantrasyon. Kaynak: [173, SSV-Stazione Sperimentale del Vetro 2010]			

Sonuçlar

Bu ek, cam sanayiinde ortaya çıkan emisyonların izlenmesine dair herhangi bir standart metodoloji sunma amacı taşımamaktadır. Normal şartlarda yerleşik yöntemler mevcuttur ve mümkünse her uygulama için değerlendirilmelidir. Bu ekin amacı, genel bilgi sağlamak ve farklı MET'lerin uygulanmasıyla elde edilebilecek emisyon seviyelerinin hatalı biçimde değerlendirilmesine yol açan olası kaynakları göstermektir.

8.4 Ek IV: Konsantrasyonlardan kütle emisyonlarının belirlenmesi için çevirim katsayılarının hesaplanması

GLS MET-Ref belgesinde ergitergitme işleminden kaynaklanan emisyon seviyelerinin raporlanması için kullanılan yaklaşım ve tanımlanan tekniklere ilişkin MET-İES'ler, hem emisyon konsantrasyonlarını (mg/Nm^3) hem de 'emisyon faktörleri' olarak da adlandırılan özgül kütle emisyonlarını (kg/ton erimiş cam) içerir.

MET-İES'lerin özgül kütle emisyonları olarak ifade edilmesi, cam imalat sanayiinde kullanılan tüm potansiyel ergitergitme seçeneklerini (oksi-yakıt, oksijenle zenginleştirilmiş, hava-yakıt ergitergitme, vb.) uygun şekilde kapsamak için temel kabul edilmektedir.

Konsantrasyonlardan emisyon faktörlerine dönüşüm için hesaplama prosedürü 5. Bölümde (Genel Değerlendirmeler) verilmiş olup bunlar atık gaz hacmine (Nm^3/h) ve fırının çekiş hızına (bir saatte ergitilen ton) dayanmaktadır.

Atık gaz hacmi temel olarak enerji tüketimine, yakıt tipine ve oksitleyiciye (üretim sürecine bağlı saflıktaki oksijen, oksijenle zenginleştirilmiş hava veya hava) bağlıdır.

Enerji tüketimi, (ağırlıklı olarak) fırının türü, camın türü ve kırıntı yüzdesini içeren karmaşık bir fonksiyondur.

Bununla birlikte, konsantrasyon ve özgül kütle akışı arasındaki ilişki bir dizi faktörden etkilenebilir. Bunlardan bazıları şunlardır:

- fırın tipi (hava ön ısıtma sıcaklığı, ergitergitme tekniği)
- üretilen cam türü (ergitergitme için enerji ihtiyacı)
- enerji karışımı (fosil yakıt/elektrikle destekleme)
- fosil yakıt türü (petrol, gaz)
- oksitleyici türü (oksijen, hava, oksijenle zenginleştirilmiş hava)
- kırıntı yüzdesi
- harman bileşimi
- fırının yaşı
- fırın boyutu.

Kütle emisyonları (kg/ton cam) = çevirim katsayısı x emisyon konsantrasyonu (mg/Nm^3)

Burada: Çevirim katsayısı = $(Q/P) \times 10^{-6}$
ve $Q = \text{Nm}^3/\text{s}$ cinsinden atık gaz hacmi
 $P = \text{ton cam}/\text{s}$ cinsinden çekme hızıdır.

Bu amaç doğrultusunda, cam sanayiinin farklı sektörleri için çevirim katsayıları, yakıt-hava fırınları için özgül enerji tüketim verileri temelinde tahmin edilmiştir.

Kolaylık sağlamak amacıyla, tahminde ergitergitme işlemi sırasında minerallerin ayrışması ile üretilen atık gaz hacmi (örn. CO_2 , SO_2) hesaba katılmamıştır.

Özgül enerji tüketim verileri kullanılarak fırının teorik, stokiyometrik atık gaz hacmi hesaplanabilir ve cam ambalaj sektörü için verilen aşağıdaki örneklerde belirtildiği üzere, düzeltme faktörü belirlenebilir. Hesaplama için kullanılan veriler Tablo 3.13'te verilen özgül enerji değerlerine dayanmaktadır.

Örnek 1 - Cam ambalaj

Fırın tipi: arkadan ateşlemeli, rejeneratif

Fırın kapasitesi: 10,42 ton/saat'e eşdeğer 250 t/gün (**P**)

Yakıt: net kalorifik değeri (**NKD**) 8500 kcal/Nm³'e eşdeğer doğal gaz

Özgül enerji tüketimi (fırın): 4,8 GJ/ton erimiş cam (**ÖET**)

GJ'den kcal'e çevirim katsayısı: 238,85 x 10³ (**K**)

1 Nm³ doğal gaz için stokiyometrik atık gaz hacmi (**SAG**) (yaş, %0 oksijende): 10,6 Nm³

$$\text{Çevirim katsayısı} = [(\text{ÖET} * P * K) / \text{NKD} * \text{SAG}] / P =$$

$$[(4,8 \text{ GJ/t} \times 10,42 \text{ t/saat} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{saat}] / 10,42 \text{ t/saat} = \mathbf{1,43 \times 10^{-3}}$$

Örnek 2 - Cam ambalaj

Fırın tipi: reküperatif

Fırın kapasitesi: 10,42 ton/saat'e eşdeğer 250 t/gün (**P**)

Yakıt: net kalorifik değeri (**NKD**) 8500 kcal/Nm³'e eşdeğer doğal gaz

Özgül enerji tüketimi (fırın): 5,8 GJ/ton erimiş cam (**ÖET**)

GJ'den kcal'e çevirim katsayısı: 238,85 x 10³ (**K**)

1 Nm³ doğal gaz için stokiyometrik atık gaz hacmi (**SAG**) (yaş, %0 oksijende): 10,6 Nm³

$$\text{Çevirim katsayısı} = [(\text{ÖET} * P * K) / \text{NKD} * \text{SAG}] / P =$$

$$[(5,8 \text{ GJ/t} \times 10,42 \text{ t/saat} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{saat}] / 10,42 \text{ t/saat} = \mathbf{1,73 \times 10^{-3}}$$

Örnek 3 - Cam ambalaj

Fırın tipi: arkadan ateşlemeli, rejeneratif

Fırın kapasitesi: 16,67 ton/saat'e eşdeğer 400 t/gün (**P**)

Yakıt: net kalorifik değeri (**NKD**) 8500 kcal/Nm³'e eşdeğer doğal gaz

Özgül enerji tüketimi (fırın): 4,3 GJ/ton erimiş cam (**ÖET**)

GJ'den kcal'e çevirim katsayısı: 238,85 x 10³ (**K**)

1 Nm³ doğal gaz için stokiyometrik atık gaz hacmi (**SAG**) (yaş, %0 oksijende): 10,6 Nm³

$$\text{Çevirim katsayısı} = [(\text{ÖET} \times P \times K) / \text{NKD} \times \text{SAG}] / P =$$

$$[(4,3 \text{ GJ/t} \times 16,67 \text{ t/saat} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{saat}] / 16,67 \text{ t/saat} = \mathbf{1,28 \times 10^{-3}}$$

Örnek 4 - Cam ambalaj

Fırın tipi: arkadan ateşlemeli, rejeneratif

Fırın kapasitesi: 4,17 ton/saat'e eşdeğer 100 t/gün (**P**)

Yakıt: net kalorifik değeri (**NKD**) 8500 kcal/Nm³'e eşdeğer doğal gaz

Özgül enerji tüketimi (fırın): 6,9 GJ/ton erimiş cam (**ÖET**)

GJ'den kcal'e çevirim katsayısı: 238,85 x 10³ (**K**)

1 Nm³ doğal gaz için stokiyometrik atık gaz hacmi (**SAG**) (yaş, %0 oksijende): 10,6 Nm³

$$\text{Çevirim katsayısı} = [(\text{ÖET} \times P \times K) / \text{NKD} \times \text{SAG}] / P =$$

$$[(6,9 \text{ GJ/t} \times 4,17 \text{ t/saat} \times 238,85 \times 10^3) / 8500 \text{ kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{saat}] / 4,17 \text{ t/saat} = \mathbf{2,06 \times 10^{-3}}$$

Yukarıda rapor edilen hesaplanmış çevirim katsayılarının ortalama değeri 1,63 x 10⁻³'e eşittir.

TERİMLER SÖZLÜĞÜ

Bu sözlüğün amacı, bu belgede bulunan bilgilerin anlaşılmasını kolaylaştırmaktır. Bu sözlükteki terimlerin tanımları hukuki tanımlar değildir (bazıları Avrupa mevzuatında verilen tanımlarla örtüşse bile). Okuyucunun belge kapsamındaki ilgili sektördeki kullanımları bağlamında bazı temel terimleri anlamasına yardımcı olmak için verilmişlerdir.

Bu sözlük aşağıdaki bölümlere ayrılmıştır:

- I. Para birimleri
- II. ISO ülke kodları
- III. Birim ön ekleri
- IV. Birimler
- V. Kimyasal elementler
- VI. Bu belgede sıklıkla kullanılan kimyasal formüller
- VII. Kısaltmalar ve teknik tanımlar

I. Para birimleri

Kod ⁽¹⁾	Ülke/bölge	Para birimi
Üye Devlet para birimleri		
Euro	Euro bölgesi ⁽²⁾	Euro
⁽¹⁾ ISO 4217 kodları. ⁽²⁾ Avusturya, Belçika, Kıbrıs, Estonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, İrlanda, İtalya, Lüksemburg, Malta, Hollanda, Portekiz, Slovakya, Slovenya, İspanya'yı içerir.		

II. ISO ülke kodları

ISO kodu	Ülke
Üye Devletler (*)	
BK	Birleşik Krallık
Üye olmayan devletler	
ABD	Amerika Birleşik Devletleri

III. Birim ön ekleri

Sembol	Ön ek	Terim	Sayı
Y	yotta	10 ²⁴	1.000.000.000.000.000.000.000.000
Z	zeta	10 ²¹	1.000.000.000.000.000.000.000
E	ekza	10 ¹⁸	1.000.000.000.000.000.000
P	peta	10 ¹⁵	1.000.000.000.000.000
T	tera	10 ¹²	1.000.000.000.000
G	giga	10 ⁹	1.000.000.000
M	mega	10	1.000.000
k	kilo	10 ³	1000
h	hekta	10 ²	100
da	deka	10 ¹	10
-----	-----	1 birim	1
d	desi	10 ⁻¹	0,1
c	santi	10 ⁻²	0,01
m	mili	10 ⁻³	0,001
μ	mikro	10 ⁻⁶	0,000001
n	nano	10 ⁻⁹	0,000000001
p	piko	10 ⁻¹²	0,000000000001
f	femto	10 ⁻¹⁵	0,000000000000001
a	atto	10 ⁻¹⁸	0,000000000000000001
z	zepto	10 ⁻²¹	0,000000000000000000001
y	yokto	10 ⁻²⁴	0,000000000000000000000001

IV. Birimler

Terim	Anlamı
bar	bar (1,013 bar = 100 kPa veya 1 atm)
°C	Santigrat derece
cm	santimetre
d	gün
g	gram
GJ	gigajul
g·mol·s ⁻¹	saniyede gram mol
s	saat
J	jul
K	Kelvin (0 °C = 273,15 K)
kcal	kilokalori (1 kcal = 4,19 kJ)
kg	kilogram (1 kg = 1000 g)
kJ	kilojul (1 kJ = 0,24 kcal)
kPa	kilopaskal
kV	kilovolt
kwh	kilowatt-saat (1 kwh = 3600 kJ = 3,6 MJ)
l	litre
m	metre
m ²	metrekare
m ³	metreküp
mg	miligram (1 mg = 10 ⁻³ g)
MJ	megajoule (1 MJ = 1000 kJ = 106 J)
mm	milimetre (1 mm = 10 ⁻³ m)
MWs	megavat saat
ng	nanogram (1 ng = 10 ⁻⁹ g)
Nm ³	normal metreküp (101,325 kPa, 273,15 K'da)
ouE	Avrupa koku birimi
Pa	paskal (1 Pa = 1 N/m ²)
Pa·s	paskal saniye
ppm	milyonda parça (1 ppm = 10 ⁻⁶)
sn	saniye
t	metrik ton (1000 kg veya 10 ⁶ g)
t/g	günlük ton
t/yıl	yıllık ton
y	yıl
~	yaklaşık; aşağı yukarı
ΔT	sıcaklık farkı
μm	mikrometre (1 μm = 10 ⁻⁶ m)

V. Kimyasal elementler

Sembol	Adı	Sembol	Adı
Ag	Gümüş	Mg	Magnezyum
Al	Alüminyum	Mn	Manganez
Ar	Argon	Mo	Molibden
As	Arsenik	N	Azot
B	Bor	Na	Sodyum
Ba	Baryum	Nd	Neodimyum
Be	Berilyum	Ni	Nikel
Bi	Bizmut	O	Oksijen
S	Karbon	P	Fosfor
Ca	Kalsiyum	Pb	Kurşun
Cd	Kadmiyum	Pd	Paladyum
Ce	Seryum	Pt	Platin
Cl	Klor	T	Kükürt
Co	Kobalt	Sb	Antimon
Cr	Krom	Se	Selenyum
Cs	Sezyum	Si	Silikon
Cu	Bakır	Sn	Kalay
F	Flor	Sr	Stronsiyum
Fe	Demir	Ta	Tantalum
Gd	Gadolinyum	Ti	Titanyum
Ge	Germanyum	V	Vanadyum
H	Hidrojen	H	Tungsten
Hg	Cıva	Y	İtriyum
K	Potasyum	Zn	Çinko
La	Lantan	Zr	Zirkonyum
Li	Lityum		

VI. Bu belgede sıklıkla kullanılan kimyasal formüller

Kimyasal formülü	Adı
Al_2O_3	Alüminyum oksit, alümina
B_2O_3	Bor trioksit
$CaCO_3$	Kalsiyum karbonat, kireçtaşı
CaF_2	Kalsiyum florür, flüspat
CaO	Kalsiyum oksit, kireç
$Ca(OH)_2$	Kalsiyum hidroksit, sönmüş kireç
$CaSO_4$	Kalsiyum sülfat
CO	Karbonmonoksit
CO_2	Karbondioksit
Fe_2O_3	Demir oksit
HBO_2	Metaborik asit
H_3BO_3	Borik asit
HBO_2	Metaborik asit
HCl	Hidrojen klorür
HF	Hidrojen florür
H_2S	Hidrojen sülfür
H_2SiF_6	Heksaflorosilisik asit
H_2SO_4	Sülfürik asit
K_2CO_3	Potasyum karbonat, potas
K_2O	Potasyum oksit
Mg_2CO_3	Magnezyum karbonat
MgO	Magnezyum oksit, magnezya
N_2	Moleküler azot
Na_2CO_3	Sodyum karbonat, soda külü
Na_2O	Sodyum monoksit
$NaOH$	Sodyum hidroksit. Kostik soda olarak da adlandırılır
$NaNO_3$	Sodyum nitrat
Na_2SO_4	Sodyum sülfat
NH_3	Amonyak
N_2O	Nitröz oksit
NO	Nitrik oksit
NO_2	Azot dioksit
NO_x	NO_2 olarak ifade edilen azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) toplamı
PbO	Kurşun oksit, sarı kurşun, mürdesenk
Pb_3O_4	Kurşun oksit, kırmızı kurşun, minyum, kurşun tetroksit
SiO_2	Silikon oksit
SO_2	Kükürt dioksit
SO_3	Sülfür trioksit
SO_x	SO_2 olarak ifade edilen kükürt dioksit (SO_2) ve kükürt trioksit (SO_3) toplamı

VII. Kısaltmalar ve tanımlar

Kısaltmalar	Tanım
as.par.	Asitle parlatılmış/cilalanmış
AES	Toprak Alkali Silikat
ACGIH	Amerikan Endüstriyel Hijyen Uzmanları Konferansı
HKK	Hava Kirliliği Kontrol sistemi
ASW	Alüminyum Silikat Yün
AZS	Alümina-zirkonya-silika
BAS	Üfleme Havası Kademelendirme
MET	Mevcut En İyi Teknikler
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
CPIV	Comité Permanent des Industries du Verre
CRF	Yakıtla Kimyasal Azaltma
CRT	Katot Işın Tüpü
CVD	Kimyasal buharlı bırakım
AK	Avrupa Komisyonu
ECFIA	Yüksek Sıcaklık Yalıtım Yünü temsil eden Avrupa Derneği
ESP	Elektrostatik toz tutucu
ETS	Emisyon Ticaret Sistemi
AB	Avrupa Birliği
EURIMA	Avrupa Yalıtım İmalatçıları Derneği
FLOX	alevsiz oksitleme
GRP	Cam takviyeli plastik
HT	Yüksek gerilim
HTIW	Yüksek Sıcaklık Yalıtım Yünleri
IBC	Ara Yiğın Taşıyıcı
I-TEQ	Uluslararası toksik eş değerlik faktörü
EKÖK	Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü
IS	Ayrı bölüm (individual section)
LCD	Sıvı kristal görüntü
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
NEPSI	Avrupa Silika Ağı
OEAS	Oksijenle Zenginleştirilmiş Hava Kademelendirme
OEL	Mesleki Maruz Kalma Sınırı
OSHA	İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi
PCW	Polikristal Yün
PET	Polietilen Tereftalat
PSA	Basınç Salımlı Emilim
RCF	Refrakter Seramik Elyaf
SCR	Seçici katalitik indirgeme
SNCR	Seçici katalitik olmayan indirgeme
ton/gün	Günde ton
UOB	Uçucu organik bileşik(ler)
VSA/VPSA	Vakum Basınç Salımlı Emilim
WESP	Islak elektrostatik toz tutucu

REFERENCES

- [2] UKDoE, Pollution Control at Large Glass Works, Environmental Resources Limited, 1991.
- [4] EPA, Alternative Control Techniques Document - NO_x Emissions from Glass Manufacturing, Unites States Environmental Protection Agency, 1994.
- [6] EEO, Energy Efficiency Environmental Control in the Glass Industry, Good Practice Guide 127, Energy Efficiency Office UK, 1995.
- [7] Ind.duVerre, Reduction des Emissions d 'Oxydes d'Azote dans l'Industrie du Verre, Comité de Suivi du Verre, Arrêté du 14mai 1993, 1996.
- [9] IPC Guidance S2 3.03, IPC Guidance note S2 3.03, Manufacture of glass fibres, other non-asbestos mineral fibres, glass frit, enamel frit and associated processes, 1996.
- [15] ETSU, Energy technology in the Glass Industry Sector (Thermie), AEA Environment and Energy, 1992.
- [18] Ercole, 'Oxycombustion: The problems and Perspectives for Development of its Use in Glass Containers Production', US Ceramic Society congress on glass, 1998, San Francisco.
- [19] CPIV, CPIV BAT Reference Document for the European Glass Industry, Comité Permanent des Industries du Verre, 1998.
- [20] Ehrig et al., Five years of operational experience with the SORG LoNO_x Melter, Glastech. Ber. Glass Sci. technol. 68, 1995.
- [22] Schott, Schott Guide to Glass second Edition, Ed HG Pfaender, Chapman & Hall, 1996.
- [25] FENIX, Saint-Gobain Vitrage Réduit les rejets de NO_x du Float D'Aniche á près de 500 mg/Nm³ par des mesures Primaires, L'Industrie Ceramic & Verriere, 1998.
- [26] Special Glass, Reference Document of the European Special Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC, Comité Permanet des Industries du Verre, 1998.
- [27] EURIMA, EURIMA BAT Reference note on insulation wool production, European Insulation Manufacturers Association, 1998.
- [28] Domestic, Reference Document of the European Tableware and Domestic Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC, Comité Permanent des industries du Verre, 1998.
- [30] Infomil, Dutch Notes on BAT for the Glass and Mineral Wool Industry, Infomil for Dutch Ministry of Environment (directorate for Air and Energy), 1998.
- [31] CPIV, An examination of the low environmental impact of dust emitted by soda-lime glass furnaces, 1998.
- [33] Beerkens, Abatment of glass furnace emissions techniques, performance, costs and possible combinations of abatment techniques, 1999.
- [38] FENIX, method and Device for Reducing NO_x Emission in a Glass Furnace, 1998.
- [40] Shulver et al., 3R Technology: An Update, Pilkington, 1997.
- [41] ECFIA, Information Report on Environmental Performances of RCF Manufacturing Plants in Europe, ECFIA, 1998.
- [42] VDI, Verein Deutscher Ingenieure Guidelines (VDI 2578) Emission Control Glassworks (DRAFT), VDI, 1997.
- [46] Illy et al., 'Processes for heat recovery and energy savings in oxy-fired glass furnaces: a technology survey', International Glass Journal, Vol. No 96, 1998.
- [47] ANFFECC, Reference Document of the Spanish Frits Industry for the Implementation of the Directiva IPPC 96/61/EC, 1999.
- [49] ADEME, Les techniques de désulfuration des procédés industriels, 1999.
- [59] SORG, SORG Brochure on Flex Melter – "Discontinuous Production Constant Quality", GmbH & Co KG, 1999.

- [60] SORG, SORG Brochure on LoNOx Melter, GmbH & Co KG, 1999.
- [62] CPIV Update for Glass BREF, 'Breakdown between glass sectors', Personal Communication, 2007.
- [63] CPIV Annual report, Statistical annual report 2006-2007, 2007.
- [64] FEVE, 'First contribution of data to the Glass BREF revision of Container glass sector
- [65] GEPVP-Proposals for GLS revision, 'Proposal from GEPVP (European Flat Glass Manufacturer Association) for the revision of the Glass BREF', Personal Communication, 2007.
- [66] APFE UPDATE IPPC Glass BREF, UPDATE IPPC Glass BREF by Continuous Filament Glass Fibre data (APFE), 2007.
- [67] APFE Plant survey, 'APFE Plant survey CFG 2005 ', Personal Communication, 2007.
- [68] Domestic Glass Data update, Data update for BREF review related to domestic glass, 2007.
- [69] EURIMA data collection, 'Tables with data from 2005 submitted by EURIMA (Mineral Wool Sector) for GLS BREF review', Personal Communication, 2007.
- [70] VDI 3469-1, Emission control: Production and processing of fibrous materials - Fibrous dusts – Fundamentals, Overview(Verein Deutscher Ingenieure) March 2007, 2007.
- [71] VDI 3469-5, Emission control: Production and processing of fibrous materials - High temperature insulation wool (Verein Deutscher Ingenieure) March 2007, 2007.
- [73] Special Glass Proposal, Proposal of review for the Glass BREF from Special glass sector, 2007.
- [74] Special Glass breakdown, Special glass sector breakdown table, 2007.
- [75] Germany-HVG Glass Industry report, Final report: BAT in the German Glass industry, HVG Hüttentechnisch Vereinigung Der Deutschen Glasindustrie E.V., 2007.
- [76] TNO SO₂, Inventory of SO₂ emissions and emission reduction potential in the Netherlands glass industry., 2007.
- [78] DUTCH Oxy-firing furnaces, NO_x-emissions container glass melting oxy-fuel furnaces in the Netherlands, 2007.
- [79] TNO Oxy-firing 2005, ATIV Final, OXYGEN-FIRED GLASS FURNACES: EXPECTATIONS AND EXPERIENCES IN THE GLASS INDUSTRY IN THE LAST 15 YEARS, 2005.
- [84] Italy Report, 'Italian contribution to Glass BREF Review-2. GLASS INDUSTRY Data', Personal Communication, 2007.
- [85] Spanish BAT Glass Guide, Draft of:"Guia de mejores tecnicas disponibles en Espana" in the glass manufacturing sector -July 07, 2007.
- [86] Austrian container glass plants, Austrian BREF contribution for container glass plants, 2007.
- [88] FEVE Proposal Ch.4-NO_x, Proposed modified texts of Chapter 4 for NO_x reduction - FEVE (Glass container), 2007.
- [89] EURIMA Suggestions, Suggestions for text changes to the IPPC BREF Note, 2007, 2007. [92] ITC - C071603, ITC - C071603 on the "Current situation of NO_x emission values in ceramic frit manufacture. Evaluation of primary measures and abatement techniques", 2007.
- [93] EURIMA data tables 80%, EIPPCB Data tables submitted 18_July 07_1, 2007.
- [94] Beerkens - APC Evaluation, Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces, 2008.
- [96] TNO-TPD Energy efficiency benchmarking, Energy efficiency benchmarking of glass furnaces., 2003, p. 11.

- [98] ANFFECC Position of the Frit Sector, Position of the Ceramic Frit Sector in the forthcoming review of the Glass BREF Specific analysis of NO_x emissions, 2005, p. 78.
- [99] ITC-C080186, Positioning of the frits sector related to NO_x emissions in regard to the revision of the GLS BREF, 2008, p. 7.
- [100] ICF BREF revision, ICF answer on the use of Lead for Crystal Industry, ICF (International Crystal Federation), 2007.
- [101] Bruno D. BATwater, Use of water and wastewater in domestic glass manufacturing, Université du littoral Côte d'Opale, 2007, p. 27.
- [109] Schep, A decade of oxy-fuel, 'A decade of oxy-fuel glass melting in The Netherlands' 2003, p. 6.
- [110] Austria, Domestic glass plants, Plant visit reports: Austrian domestic glass plants, Umweltbundesamt, 2007.
- [111] Austrian Special glass plant, Plant visit report Austrian special glass plant, Umweltbundesamt, 2006.
- [112] Austrian glass wool plant, Plant visit report: Austrian glass wool plant, Umweltbundesamt, 2006.
- [113] Maguin CerCat process, CerCat (Ceramic and Catalytic) FLUE GAS TREATMENT PROCESS, 2008, p. 3.
- [115] EURIMA-ENTEC Costs evaluation, Evaluation of costs associated with air pollution control for the mineral wool sector, 2008, p. 58.
- [116] ECFIA, 'New text Proposal for Section 1.9 of BREF page 29/30 comment N° 7', Personal Communication, 2008.
- [117] GWI, VDI-Berichte Nr. 1988, Anwendung der flammenlosen Oxidation für Glasschmelzwannen mit rekuperativer Luftvorwärmung – Glas-FLOX®, 2007.
- [118] CTCV Data for BREF revision, Data provided from CTCV for Glass BREF revision., CTCV (Technological Centre for Ceramic and Glass industry from Portugal), 2007.
- [120] CTCV, ESP Installation, CTCV, 2009, p. 4.
- [121] EC, BREF on Emissions from Storage (EFS), 2006.
- [122] EC, BREF on General Principles of Monitoring (MON), EIPPCB, 2003, p. 123. [124] EC, BREF on Energy Efficiency (ENE), 2009.
- [125] FEVE, Correction to Chapter 1, 2009. [126] FEVE, Corrections to Chapter 3, 2009.
- [127] Glass for Europe, Proposed corrections to Section 1.4, 2008.
- [128] ECORYS, FWC Sector Competitiveness Studies - Competitiveness of the Glass Sector, 2008.
- [129] EN 1094-1, European Standard - Insulating refractory products: Terminology, classification and methods of test for high temperature insulation wool products, 2008.
- [130] CPIV, 'Number and type of furnaces', Personal Communication, 2008. [131] APFE, 'Composition of E glass', Personal Communication, 2008.
- [132] Special, Glass compositions, 2008.
- [133] EURIMA Contributions November, 'Contribution after Interim Meeting', Personal Communication, 2008.
- [134] ANFFECC, Contribution to the meeting ANFFECC-IPTS, July 2008, 2008.
- [135] NEPSI, Good practice guide on workers health protection through the good handling and use of crystalline silica and products containing it, European Network on Silica, 2006.
- [136] EURIMA, 'Information after Interim Meeting', Personal Communication, 2008.
- [137] Domestic glass, 'Energy consumption - Examples', Personal Communication, 2008.

- [138] EC, BREF on Large Volume Inorganic Chemicals - Solids and Others (LVIC-S), 2007. [139] European Commission, BREF on Surface Treatment using Organic Solvents, 2007. [140] Domestic Glass, 'Comments to Section 3.6.5', Personal Communication, 2008.
- [141] Special glass, 'Contribution for Chapter 3', Personal Communication, 2008. [142] EURIMA August, August 2008 New Tables, 2008.
- [143] ECFIA November, 'Contribution for chapters 1 and 3', Personal Communication, 2008. [144] ITC November, Report C082655 on diffuse/fugitive emissions, 2008.
- [145] France contribution, Glass furnace flue gas treatment with dry sodium bicarbonate and treatment of residues, 2007.
- [146] EURIMA, Waste injection into stone wool melting furnace, 2007.
- [147] Kobayashi et al., 'Development of an advanced batch/cullet preheater for oxy-fuel fired glass furnace', 68th Conference on Glass Problems, 2007, Columbus, OH, USA.
- [148] Beerkens, 'Energy saving options for glass furnaces & recovery of heat from their flue gases', 69th Conference on Glass Problems, 2008, Columbus, OH, USA.
- [149] Rue et al., 'Recent developments in submerged combustion melting', 67th Conference on Glass Problems, 2006, Ohio, USA.
- [150] Knauf, 'ECOSE Technology', Personal Communication, 2008. [151] Madison Filter Ltd., Low density ceramic filter elements, 2008. [152] Finland contribution, NASU electrostatic precipitator, 2009. [153] Germany Precious, Precious cullet preheater, 2007.
- [154] EC, BREF on Waste Incineration (WI), 2006.
- [155] NER April, Description of the cost effectiveness methodology, INFOMIL, 2003. [156] EC, BREF on Economics and Cross-Media Effects (ECM), 2006.
- [157] European Commission - Green Paper, Green Paper - Towards a European strategy for the security of energy supply, 2000.
- [158] EEA - NEC report, NEC Directive status report 2008, European Environment Agency, 2008.
- [159] Glass for Europe, Low-E Insulating Glass for Energy Efficient Building, 2009. [160] Glass for Europe, Solar Control Glass for Greater Energy Efficiency, 2008.
- [161] Special glass, 'Investment costs for special glass installations', Personal Communication, 2008.
- [162] ICG-TC 13, 'Selenium emissions from glass melting furnaces: formation, sampling and analysis', Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology, Vol. Part A, Volume 47, 2006, pp. 29-38.
- [163] Glass for Europe, 'Variation of dust emissions behind an ESP', Personal Communication, 2009.
- [164] France - Example installation, Euroglas Hombourg, France - Gerard Genuit, Gilles Guilloteau, 2001.
- [165] France, 'French contribution to final draft', Personal Communication, 2010.
- [166] ITC- C100244, Additional information to the Conclusions of the Final TWG Meeting for the review of the GLS BREF, Instituto de Tecnologia Ceramica, 2010.
- [167] Hans van Limpt (TNO), Modeling of Evaporation Processes in Glass Melting Furnaces, 2007.
- [168] CPIV - Health Risk Assessment, Evaluation of Health Risk Assessment from the dust emissions of a Glass Container Factory, 2009.
- [169] NEPSI-Good Practice Guide, Good Practice Guide on Workers Health Protection through the Good Handling and Use of Crystalline Silica and Products Containing it, NEPSI, 2006.

- [170] N.Harris, 'Cloud Chbal renkli Scrubber', Personal Communication, 2009.
- [171] Tri-Mer Corporation, Cloud Chbal renkli Scrubber, 2010.
- [172] NeR, April, Monitoring Emissions, 2003, p. 9.
- [173] SSV-Stazione Sperimentale del Vetro, 'Limiti di rivelabilita' e incertezza estesa dei metodi per la misura delle emissioni', Personal Communication, 2010.
- [174] EURIMA position, 'Eurima position on new product formulations', Personal Communication, 2010.
- [175] CTCV, 'Detection limit values', Personal Communication, 2010.
- [176] TRGS 619, Substitute materials for aluminium silicate wool products, Committee on hazardous Substances - AGS management - Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2007.
- [177] VDI 3677 Part 1, draft edition, Filtering separators, 2009.
- [178] Glass International September, 'Particle size range in the waste gas of flat glass furnaces', Glass International, 2009.
- [179] ISO, ISO 14001: 2004 http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm, 2004.
- [180] DG Environment, What is Emas? http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm, 2010.
- [181] Reg. 1221/, REGULATION (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC., 2009.
- [182] IAF, International Accreditation Forum website <http://www.iaf.nu>, 2010.

Avrupa Komisyonu

EUR 25786 – Ortak Araştırma Merkezi – Prospektif Teknolojik Araştırmalar Enstitüsü

Başlık: Cam Üretimi için Mevcut En İyi Teknikler (MET) Referans Belgesi

Yazar(lar): SCALET Bianca Maria, GARCIA MUÑOZ Marcos, SISSA Aivi Querol, ROUDIER Serge, DELGADO SANCHO Luis

Lüksemburg: Avrupa Birliği Yayın Ofisi

2013 – 480 sayfa – 21.0 x 29.7 cm

EUR – Bilimsel ve Teknik Araştırma serisi – ISSN 1831-9424 (çevrimiçi), ISSN 1018-5593 (basılı),

ISBN 978-92-79-28284-3 (pdf)

ISBN 978-92-79-28285-0 (basılı)

doi:10.2791/69502

Özet

Cam Üretimi başlıklı MET Referans Belgesi, 2010/78/AB sayılı Direktifin 13 (1) Maddesinde öngörüldüğü üzere MET referans belgelerinin hazırlanması, gözden geçirilmesi ve gerekli olması durumunda güncellenmesi amacıyla; AB Üye Devletleri, ilgili endüstriler, çevrenin korunması için çalışan sivil toplum kuruluşları ve Komisyon arasında yapılan bilgi alışverişinin sonuçlarını ortaya koyan bir dizi belgeden oluşmaktadır. İşbu belge, ilgili Direktifin 13(6) Maddesi uyarınca Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmıştır. Cam imalat sanayiine yönelik bu BREF, 2010/75/AB sayılı Direktifin Ek I'inde belirtilen aşağıdaki faaliyetleri kapsar:

- faaliyet 3.3: Günlük 20 ton üzeri ergitme kapasitesine sahip, cam elyafı da dâhil olmak üzere cam üretimi
 - faaliyet 3.4: Günlük 20 ton üzeri ergitme kapasitesine sahip, mineral elyaf üretimi de dâhil olmak üzere mineral madde ergitme.
- Belge ayrıca, bu faaliyetlerle doğrudan ilişkili olabilecek ve aynı tesiste gerçekleştirilen, ergitme harici faaliyetleri ve aşağı akış süreçlerini de kapsar.

Cam imalatında 2010/75/AB sayılı Direktifin uygulanmasında önemli hususlar hava emisyonlarının azaltılması, enerji ve hammaddelerin verimli kullanımı, proses kalıntılarının en aza indirilmesi, geri kazanılması ve geri dönüştürülmesi ve bunların yanı sıra, çevre ve enerji yönetim sistemlerinin etkili bir şekilde uygulanmasıdır. MET-Ref belgesi sekiz bölümden oluşmaktadır. 1. ve 2. Bölümler, cam üretim sanayii ve bu sektörde kullanılan endüstriyel süreçler ve teknikler hakkında genel bilgi verir. 3. Bölümde mevcut emisyon seviyeleri, hammadde, su ve enerji tüketimi ve atık üretimi açısından, tesislerin çevresel performansına ilişkin veri ve bilgiler sağlanır. 4. Bölümde, bu sektördeki tesislerin çevresel etkilerini önlemeye veya azaltmaya yönelik teknikler açıklanmaktadır. 5. Bölümde, Direktifin 3(12) Maddesinde tanımlandığı üzere, cam sanayiinin sekiz sektörüne ilişkin MET sonuçları sunulmaktadır. Bu sektörler cam ambalaj, düz cam, kesintisiz cam elyaf, cam ev eşyaları, özel cam, maden pamuğu, yüksek sıcaklık yalıtım yünü ve fritlerdir.

Komisyondun kurum içi bilimsel hizmetlerinden sorumlu Ortak Araştırma Merkezi'nin misyonu, AB politikalarına, politika dngsnn tamamı boyunca bağımsız, kanıta dayalı bilimsel ve teknik destek sağılamaktır.

Politika Genel Müdürlükleri ile yakın işbirliğı içinde alışan Ortak Araştırma Merkezi; yeni standartlar, yöntemler ve araçlar geliştirerek ve bilgi birikimini ye Devletler ve uluslararası toplulukla paylaşarak ve aktararak yeniliğı teşvik ederken, başlıca toplumsal zorlukları da ele alır.

Temel politika alanları evre ve iklim değışikliğı, enerji ve ulaşım, tarım ve gıda güvenliğı, sağılık ve tüketiciyi koruma, bilgi toplumu ve dijital gündem, nükleer dâhil güvenlik ve emniyetten oluşur ve bunların tamamı, paralel ve çok disiplinli bir yaklaşımla desteklenir.