



AVRUPA KOMİSYONU

Entegre Kirliliğin Önlenmesi ve Kontrolü

Cam Üretim Sanayisinde Mevcut En İyi Teknikler Konusunda Referans Doküman

Aralık 2001

GENİŞ ÖZET

1) Giriş

Cam sanayisinde mümkün en iyi teknikler konusundaki bu referans doküman, 96/6 1/EC sayılı Konsey Direktifinin 16 (2) sayılı maddesine göre yürütülen bilgi alış verişini yansıtmaktadır. Doküman, önsözünde açıklanan amaçlar ve kullanım şekli ışığında değerlendirilmelidir.

Bu doküman, 96/6 sayılı Direktif'in Ek 1'indeki 3.3 ve 3.4 sayılı alt bölümlerinde belirtilen endüstriyel faaliyetleri kapsar; bu bölümler:

- 3.3 Günde 20 tondan fazla eritme kapasiteli cam elyaf içeren bir üretim için tesisler.
- 3.4 Günde 20 tondan fazla eritme kapasiteli maden üretimini içeren mineral parçacıkları eritmek için tesislerdir.

Belgenin amaçladıkları açısından Direktif'teki tanımlamalara karşılık gelen endüstriyel faaliyetler sekiz sektörden oluştuğu düşünülen cam sanayisine işaret etmektedir. Bu sektörler üretilen ürünlere dayanır, ancak bu sektörlerin kaçınılmaz bir şekilde birbirine içine girdiği durumlar vardır. Bu sekiz sektör: cam kaplar; düz cam; sürekli filament cam elyaf; evsel cam; özel cam (su camını da içerir); maden yünü (iki alt sektörü vardır: cam yünü ve taş yünü.); seramik elyaf ve cam hamurları

Doküman yedi bölüm ve tamamlayıcı bilgi içeren bir takım ek bölümlerden oluşmaktadır. Bu yedi bölüm ve dört ek bölüm şunlardır:

- 1. Genel Bilgi
- 2. Uygulanan İşlem ve Teknikler
- 3. Mevcut Tüketim ve Emisyon Seviyeleri
- 4. MEİT'in Belirlenmesinde Düşünülebilecek Teknikler
- 5. MEİT Değerlendirmeleri
- 6. Var olan teknikler
- 7. Çıkarsamalar ve Tavsiyeler
- 8. Ek 1 Örnek Tesis Emisyon Verisi
- 9. Ek 2 Sülfür dengelerine örnek
- 10. Ek 3 İzleme
- 11. Ek 4 Üye Devletin Yasalaştırması

Geniş özeti amacı dokümanda esas olarak ortaya konulanları özetlemektir. Ana dokümanın yapısından dolayı karışıklıkları ve anlaşılabilirliklerinin bu kısa özetle verilmesi imkansızdır. Bu nedenle, ana metne göndermeler yapılmıştır ve MEİT'yi belirlemede ana dokümanın hepsinin bir referans olarak kullanılması gerektiği belirtilmelidir. Sadece geniş özete dayanılarak bir takım kararlar alınması kapsam dışına çıkılmasına ve karmaşık konuların yanlış yorumlanmasına neden olabilir.

2) Cam Sanayi

Bölüm 1, cam sanayinin genel arka planını sunmaktadır. Esas amaç, karar alma mercilerine doküman kapsamında ilerleyen bölümlerde cam sanayisine çok çeşitli etkileri içeren bilgileri anlamalarına yardım etmek için sanayi hakkında genel bilgi sunmaktır.

Avrupa Birliği'ndeki (AB) cam sanayi, hem yapılan ürünler hem de kullanılan üretim teknikleri açısından kendi içinde büyük farklılıklar gösterir. Ürünler, el yapımı karışık kurşun kristal kadehlerden, yapı ve otomotiv endüstrileri için üretilen büyük yapıları yüzdürme camlara kadar farklılık gösterir.

Üretim teknikleri seramik elyaf sektöründeki düşük elektrikle ısıtılan fırınlardan, günde 700 tona kadar üretim yapan, çapraz ısıtmalı geri beslemesi olan fırınlara kadar değişir. Büyük cam sanayi aynı zamanda Direktif Ek 1’de, günde 20 ton üretim sınırında yer alan birçok küçük tesisi de içerir.

Sanayiye rekabetçi özellik sağlamak için büyük çaplı ürünlere değer katan birçok yol geliştirilmiş olmasına rağmen, cam sanayi esasında bir emtia sanayisidir. Sanayide elde edilen ürünlerin yüzde 80’inden fazlası başka sanayi kollarına satılır ve tüm cam sanayi, inşaat sanayi ve yiyecek içecek sanayisine fazlasıyla bağlıdır. Bununla birlikte, daha küçük çaplı sektörlerin bazıları değerli teknik ürünler ya da tüketici ürünleri üretir.

AB’de cam sanayinin 1996’daki toplam üretimi 29 ton olarak (seramik fiberler ve cam hamuru hariç) hesaplandı. Sektör dökümünü gösteren bir tablo aşağıda verilmektedir.

Sektör	Yüzde olarak Toplam AB Üretimi (1996)
Cam kaplar	60
Düz Cam	22
Sürekli filament cam elyaf	1.8
Evsel cam	3.6
Özel Cam	5.8
Maden yünü	6.8

Cam sanayindeki üretimin dökümüne dayanan tahmini sektör (seramik elyaf ve cam hamuru sektörleri hariç)

Bölüm 1, her bir sektör için şu başlıklar altında bilgi sunar: sektöre genel bakış, ürün ve pazarlar, ticari ve finansal faktörler ve temel çevresel hususlar. Sanayi içindeki ayrışmadan dolayı, her bir sektör için verilen bilgiler oldukça farklılık göstermektedir. Aydınlatıcı bir örnek olarak cam kaplar konusunda verilen bilgiler aşağıdaki paragrafta özetlenmektedir. Mümkün oldukça bütün sektörler için karşılaştırmalı bilgiler sunulmaktadır.

Cam kap üretimi AB cam sanayisinin en büyük sektörüdür ve toplam cam üretiminin yüzde 60’ını yansıtır. Sektör, bazı makine imalatı yemek takımları da bu sektörde üretilebiliyor olmasına rağmen, şişe ve kavanozlar gibi cam kapların üretimini içerir. 1997’de sektör AB’de faaliyette olan 295 fırından 17,3 milyon ton cam ürün üretti. 140 tesisi olan 70’e yakın şirket bulunuyor. Lüksemburg dışında kalan bütün üye devletlerde cam kaplar üretilmektedir. İçecek sektörü toplam üretilen cam paketleme kaplarının yüzde 75’ine denk gelmektedir. Esas rekabet alternatif paketleme ürünleri olan çelik, alüminyum, karton kaplama ve plastiklerden gelmektedir. Sektördeki dikkate değer gelişme geri dönüşümü olan cam kullanımının artması oldu. AB cam kap sektöründe, atık camın yüzde 90’ından faydalanan tesisler olmakla birlikte, nihai tüketici atığından yararlanmadaki ortalama oran, hammadde olarak giren materyalin yaklaşık yüzde 50’sine denk geliyor.

3) Uygulanan İşlemler

Bölüm 2, cam sanayinde genellikle karşılaşılan üretim teknikleri ve işlemlerini açıklar. Birçok işlem beş temel stratejiye ayrılabilir: materyallerin dağıtılması, eritme, şekil verme, üretim işlemi ve paketleme.

Cam sanayi içindeki ayrılık, hammadde materyallerinin çok geniş bir alanda kullanılması sonucunu doğurur. İşleme materyalleri için kullanılan teknikler birçok sanayi kolunda yaygın olarak kullanılır ve BREF’in 2.1 kısmında açıklanmaktadır. Esas konu, ince malzemenin işlenmesindeki tozun kontrolüdür. Eritme için olan temel hammadde materyalleri materyalle şekil veren cam (mesela silisli kum, kırık cam), orta aşama/düzeltilici materyaller (mesela soda külü, kireç taşı, feldispat) ve renklendirme/saydamlaştırma maddeleridir (mesela demir kromit, demir oksit).

Ayrı hammadde materyallerinin eritilmiş cama şekil verilebilmesi için yüksek sıcaklıkta karıştırılması olan eritme, cam yapımının merkezinde yer alan safhadır. Eritme işlemi kimyasal tepkimelerin ve fiziki süreçlerin karışık bir kombinasyonudur ve eritme birçok aşamaya ayrılır: ısıtma, esas eritme, inceltme ve şekil verme.

Temel eritme teknikleri aşağıda özetlenmektedir. Taş yünü ve cam hamuru sektörlerinde farklı teknikler kullanılır ve bu teknikler esas doküman içinde ayrıntılarıyla açıklanmaktadır. Cam yapımı oldukça enerji isteyen bir çalışmadır ve ısı geri dönüşüm yöntemi fırın tasarımının odak noktasıdır. Aynı tercihler eritme çalışmasının çevre açısından başarısını ve enerji etkinliğini etkileyen en önemli faktörlerden bazılarıdır. Cam yapımındaki üç temel enerji kaynağı doğal gaz, akaryakıt ve elektriktir.

Rejeneratif fırınlar, (Yenileyici fırınlar) yenileyici ısı geri dönüşüm sistemlerini kullanır. Brülörler genellikle yanma havası / atık gaz kanallarının içinde ya da altında konumlanır. Atık gazlar içindeki ısı, atık gazları, dayanıklı madde içeren, ısıyı emici bir çemberden geçirerek yanmadan önce havanın yeniden ısıtılması için kullanılır. Fırın bir seferde sadece bir yüzü ateşler. Yaklaşık yirmi dakika sonra, yanma diğer tarafa geçer ve yanma havası daha önce atık gazlar ile ısıtılmış çemberden geçirilir. 1400 °C'ye kadar yükselebilen ön ısıtma sıcaklıklarına yüksek verimlilikle ulaşılabilir. Çapraz ateşli yenileyici fırında, yanma kanalları ve brülörler fırının yanları boyunca bulunur ve jeneratör çemberler fırının her iki yanında yer alır. En sonda yanan yenileyici fırında, iki yenileyici çember fırının sonunda yer almakla birlikte, fırının çalışma ilkeleri aynıdır.

Rekuperatif fırınlar, (Geri kazandırıcı fırınlar) ısıyı geri kazanmak için, atık gazlarla yanma havasının sürekli olarak önceden ısıtıldığı değiştiriciler (sürekli ısı geri kazandırıcı) kullanır. Hava ön ısıtma sıcaklıkları metalik ısı geri kazandırıcılar için yaklaşık 800 °C ile sınırlıdır. Isı rekuperatif fırınların özel eritme kapasitesi rejeneratif fırınlarda olandan yaklaşık yüzde 30 daha düşüktür. Brülörler, fırınların her yanında, gaz akışının ve her iki yandan sürekli olarak gelen ateşin çaprazında yer alır. Bu tarz fırın, esas olarak, en düşük seviyede ilk sermaye gideri ile birlikte çalışmada yüksek esneklik gerektiğinde ve özellikle de çalışmanın çapı jeneratörlerin kullanımını ekonomik olarak mümkün kılmak için çok düşük olduğunda kullanılır. Yüksek kapasiteli fırınlar (günde 400 tona kadar çıkarlar) yaygın olmamasına rağmen küçük kapasiteli tesisler için daha uygundur.

Oksi yakıt yakma yanma havasının yerine (%90'dan az saflıkta) oksijenin konulmasını içerir. Yanma atmosferinden nitrojenin çoğunun çıkarılması atık gazların neredeyse üçte ikisini azaltır. Böylelikle, atmosferik nitrojeni alev alacak sıcaklığa kadar ısıtmaya gerek kalmadığından fırın enerji tasarrufu mümkün olur. Termal Nox'ın oluşması da aynı zamanda büyük ölçüde azalır. Genelde, oksi yakıt fırınlar birim ısıtıcı olarak, çoklu yan brülörler ve tek atık gaz dışarı atma kanalı içeren aynı temel tasarıma sahiptir. Bununla birlikte, oksijen yanması için tasarlanmış fırınlar brülörleri besleyen oksijenin ön ısıtması için ısı geri dönüşüm sistemlerini kullanmaz.

Elektrikli fırınlar, fırının yanlarından, tepesinden ya da daha sık karşılaşıldığı üzere altından sokulmuş elektrotlu, çelik çerçeve ile desteklenen dayanıklı kaplama kutu içerir. Eritme için enerji, akım erimiş camdan geçerken dirençli ısıtma ile sağlanır. Bu teknik özellikle özel cam için daha yaygın olarak küçük fırınlarda uygulanır. Elektrikli fırınların, ekonomik uygulamaları açısından fosil yakıtlar ile karşılaştırıldıklarında elektrik maliyetine bağlı olan daha üst seviyede bir sınırları vardır. Elektrikli fırın içinde fosil yakıtlar yerine kullanılması yanma ürünlerinin oluşmasını ortadan kaldırır.

Fosil yakıt ile elektrikli bir arada olduğu eritme, iki şekilde gerçekleşebilir: elektrik tetiklemesi ile ağırlıklı olarak fosil yakıtın yanması ya da fosil yakıt desteği ile ağırlıklı olarak elektrikli ısıtmanın sağlanması. Elektrik tetiklemesi tankın altındaki elektrotlardan elektrik akımının geçirilmesi ile cam fırına ekstra ısı sağlandığı bir yöntemdir.

Esas olarak elektrikle ısıtılan fırın için destek yakıtı olarak gaz ya da petrolün kullanılması daha az yaygın olan bir tekniktir. .

Aralıklı harman eritici, daha az miktarlarda camın gerekli olduğu, özellikle de cam formülasyonunun sürekli olarak değiştiği yerlerde kullanılır. Bu durumlarda, özel hammadde harmanlarını eritmek için pot fırınlar ya da günlük tanklar kullanılır. Bu türdeki birçok cam işlemi EKÖK kontrolü içinde yer almaz, çünkü bu işlemlerin günlük eritme kapasitesinin 20 tonun altında olması muhtemeldir. Bir pot fırın temel olarak yanma havasını önce ısıtan bir alt kısmı ve eritme haznesi olarak potları ve çıkışları tutan bir üst kısmı içerir. Günlük tanklar, daha büyük kapasiteye sahip olması için –günde 10 ton civarı- daha ileri gelişmişlik düzeyindedir. Yapı olarak geleneksel fırının dörtgenine oldukça benzer, ama bunlar her gün harmanla doldurulur.

Özel eritici tasarımları çevre açısından başarıyı ve verimliliği arttırmak için geliştirildi. Bu türde fırınlar içinde en çok bilinenleri LoNOx eritici ve Flex eriticidir.

Bu sanayi kolu içinde kullanılan temel işlem ve tekniklerin genel yapısı her bir sektör için aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Cam kaplar, farklı bir sektördür ve aşağıda açıklanan neredeyse bütün eritme teknikleri bu sektörde bulunur. Şekil verme işlemi iki aşamada yürütülür. İlk aşama, bir pistonun basılması ya da basınçlı havanın verilmesi ile boşluğun oluşturulması; son aşama ise, bitmiş çukur halini elde etmek için üfleme ile son kalıbın verilmesi işlemidir. Bu iki işleme sırasıyla “baskı ve üfleme” ve “üfleme ve üfleme” adı verilir. Kap üretiminin neredeyse hepsi Özel Bölme (Individual Section-IS) makineleri ile yapılır.

Düz Cam neredeyse sadece çapraz ateşli rejeneratif fırınlarda üretilir. Yayma işleminin temel prensibi, eritilmiş camın eritilmiş saç banyosuna dökülmesi ve yerçekimi ve yüzey basıncı etkisi altında paralel hale gelen üst ve alt yüzeylere bir bant ile şekil vermektir. Yayma banyosundan çıkan cam bant, kalan basıncı azaltmak için camı yavaş yavaş soğutan tavlama fırınına gönderilir. Ürünün performansını arttırmak için üretim bandı üzerinde giydirme (mesela, düşük yayma kuvveti ile üst kaplama) uygulanabilir.

Sık dokulu cam elyaf, reküperatif fırınlar ya da oksijen yakıtla yanan fırınlar kullanılarak yapılır. Cam, fırından, tabandan geçtiği yatak olan döküm kanalına doğru akar. Cam, sık dokunun oluşturulması için yatak uçlarından çekilir. Dokular büzdürülür ve her bir dokuya sulu kaplama uygulayan silindir ya da kemerden geçirilir. Kaplanmış dokular daha sonraki işlemler için desteler (saç tutamları) halinde bir araya getirilir.

Evsel camı, çok çeşitli ürün ve işlemleri içeren farklı bir sektördür. Karmaşık el yapımı kurşun kristallerden, yemek takımlarının toplu üretimi için kullanılan büyük çaplı mekanik yöntemlere kadar geniş bir alanda farklılık gösterir. Pot fırınlardan tutun da büyük rejeneratif fırınlarda kadar, aşağıda açıklanan eritme yöntemlerinin hemen hemen hepsi bu sektörde kullanılır. Şekil verme işlemleri, otomatik, el yapımı ya da yarı otomatiktir ve bunu takip eden üretimde temel parçalar soğuk bitirme çalışmalarına (mesela, kurşun kristaller genellikle kesilir ve parlatılır) tabii tutulabilir.

Özel cam da aynı zamanda çoğunlukla bileşim, üretim yöntemi ve kullanıma göre farklılık gösterebilen çok çeşitlilikte ürünleri içeren farklı bir sektördür. En çok kullanılan teknikler reküperatif fırınlar, aksi gazlı fırınlar, elektrikli eriticiler ve günlük tanklardır. Geniş ürün yelpazesinin olması sektör içinde birçok şekil verme tekniğinin kullanılması anlamına gelir. En önemlilerinden bazıları: presleme ve üfleme ile üretim, haddeleme, presleme, bant işlemi, tüpten sıkma, çekme işlemi ve çözünmedir (su camı).

Cam yünü fırınları genellikle ya elektrikli eriticiler, ya gaz yanmalı rejeneratif fırınlar ya da oksijen yakıtlı fırınlardır. Eritilmiş cam döküm kanalı ile tek ağızlı yataklardan dönen merkezkaç kuvvetli çeviricilere akar. Fiberleştirme sıcak alev gazları ile ısıtılan merkezkaç kuvveti hareketidir. Su gibi fenolik reçine solüsyon elyaflar üzerine püskürtülür.

Reçine kaplanan elyaf, hareket eden taşıyıcı üzerindeki vakum üzerine çekilir ve sonra, kuruması ve ürünün düzeltilmesi için fırına gönderilir.

Taş yünü, genellikle kok yakılan sıcak üflemeli döküm fırınlarında üretilir. Eriyen madde fırının alt tarafında birikir kısa oluklar halinde sarma makinesine akar. Hava elyafın inceltilmesi ve toplama şeritleri üzerine yönlendirilmesi için kullanılır. Sulu fenolil reçine solüsyonu, bir dizi püskürtme memesi ile elyaf üzerine püskürtülür. İşlemin geri kalanı esasen cam yünü işlemindeki gibidir.

Seramik elyaf, sadece elektrikli fırınlar kullanılarak üretilir. Eriyik ya yüksek hızda çarklar ya da yüksek basınçlı hava jetleri ile elyaf haline getirilir ve elyaf toplama şeridi üzerine çekilir. Ürün bu aşamada balyalanabilir ya da ürün olarak balyalanması ya da iğneleme ile keçe oluşturulması için battaniye şeklinde işlenir. Üretim sonrası ileri işlemlerde aynı zamanda yürütülebilir.

Cam hamuru üretiminde hem sürekli fırınlar hem de yığın fırınlardan faydalanılır. Çok geniş formülasyonların üretilmesi için küçük harmanlar için kullanılanları yaygındır. Cam hamuru fırınları genel olarak doğal gaz ya da yakıt yakmalıdır ve birçok cam hamuru tesisleri oksijen yakıt yakışını kullanır. Sürekli fırınlar çapraz yanmalı ya da tek brülör ile uçtan yanmalı olabilir. Aralıklı çalışan yığın fırınları, dönme derecesine izin veren kutu ya da silindir şeklindeki dayanıklı kaplaması olan kazanlardır. Eriyik direkt olarak su banyosu içine batırılabilir ya da ince bir ürün üretmek için suyla soğutulmuş silindirler arasında soğutulabilir.

4) Tüketim ve Emisyon Düzeyleri

3. bölüm, 2. bölümde açıklanan işlemler ve teknikler kapsamında cam sanayinde karşı karşıya kalınan tüketim ve emisyon düzey aralıkları konusunda bilgi sunar. Bu sanayi kolu için bir bütün olarak girdi ve çıktılar üzerinde durulmakta, daha sonra her bir sektör için daha açık değerlendirmelerde bulunmaktadır. Önemli emisyon özellikleri, emisyon kaynakları ve enerji sorunları bu bölümde ortaya konulmaktadır. Verilen bilgilerde amaç, üretim için uygun görülen tesisler için emisyon ve sarfiyat hesaplamalarını sunmak, aynı sektör içinde ya da bütün cam sanayi için başka işlemlere karşı belli bir bağlamda inceleme yapılmasıdır.

Temel süreç girdileri dört ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar; hammaddeler (bunlar ürünün parçasını oluşturan maddelerdir), enerji (yakıtlar ve elektrik), su ve yan maddeler (yapım aletleri, temizleme maddeleri, su arıtma kimyasalları, vb). Cam sanayi hammaddeleri, ya doğada var olan mineraller ya da insan yapımı ürünler olan, büyük ölçüde katı inorganik bileşiklerdir. Bunlar iri parçalı maddelerden ince parçalara ayrılmış toza kadar değişiklik gösterir. Sıvı ve gazlar da hem yan maddeler hem de yakıtlar olarak oldukça fazla kullanılır.

Ana dokümandaki Tablo 3.1’de cam yapımında en çok kullanılan hammaddeler sıralanmaktadır. Ürün şekillendirme ve diğer üretim çalışmalarında kullanılan hammaddeler (giydirmeye ve yapıştırıcılar gibi) her sektör için daha spesifik ve sonraki bölümlerde ele alınacaktır. Genel anlamda bakıldığında cam sanayi suyun önemli bir tüketicisi değildir. Genel olarak kullanımları soğutma, temizleme ve harman nemlendirmedir. Cam yapımı enerji yoğunluklu süreçtir ve bu nedenle yakıtlar süreçler için önemli bir girdiyi teşkil ederler. Cam sanayindeki ana enerji kaynakları akaryakıt, doğal gaz ve elektriktir. Enerji ve yakıt konuları Kısım 3.2.3’te ve belli sektör bölümlerinde ele alınmaktadır.

Temel süreç çıktıları beş ana kategoriye ayrılabilir. Bunlar; ürün, havaya verilen emisyonlar, sıvı atık akışları, katı işlem atıkları ve enerjidir.

Cam sanayideki sektörlerin hepsi ufalanmış, tanecikli ya da tozlu hammaddelerin kullanımını içerir. Bu maddelerin depolanması ve kullanılması toz emisyonu için önemli bir emisyonu gösterir.

Cam sanayi için önemli çevresel zorluklar havaya salınan emisyonlar ve enerji sarfiyatıdır. Cam yapımı yüksek sıcaklıkta yapılan, enerji yoğunluklu bir çalışmadır ve yanan ürünlerin emisyonu

ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta okside olmasına, yani sülfür dioksit, karbondioksit ve azot oksitlerine neden olur. Fırın emisyonları aynı zamanda toz ve düşük miktarlarda metal içerir. 1997’de cam sanayinin havaya saldığı emisyonların içeriği şu şekilde hesaplandı: 9000 ton toz, 103500 ton Nox, 91500 ton SO_x; 22 milyon ton CO₂ (elektrik üretimi dahil). Bu miktar, bu maddelerin toplam AB emisyonunun %0,7’si civarını oluşturdu. Cam sanayinin tarafından kullanılan toplam enerji yaklaşık 265 PJ oldu. Cam sanayindeki eritme çalışmalarından çıkan esas emisyonlar aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

Emisyon	Kaynak / Yorumlar
Parçacıklı Madde	Uçucu harman bileşenlerinin yoğunlaşması. Harman içindeki hassas maddelerin taşınması. Bazı fosil yakıtların yanması sonucu üretilen.
Azot Oksitleri	Yüksek eritme sıcaklıklarından dolayı termal NO _x oluşumu. Harman maddeleri içindeki azot bileşiklerinin ayrışması. Yakıtlar içindeki nitrojenin oksitlenmesi.
Sülfür Oksitleri	Yakıt içindeki sülfür. Harman maddeleri içindeki sülfür bileşiklerinin ayrışması. Sıcak üfleme döküm ocağı faaliyetlerindeki hidrojen sülfürün oksitlenmesi.
Kloridler/HCl	Bazı hammaddelerde, özellikle de insan yapımı sodyum karbonatta, saf olmayan bir şekilde bulunur. NaCl bazı özel camlarda hammadde olarak kullanılır.
Floridler/HF	Bazı hammaddelerde çok az saf olmayan bir şekilde bulunur. Bitmiş ürünlerde belli özellikleri sunması için mine işi cam hamurunun üretimine hammadde olarak eklenir. Sürekli filaman cam elyaf sanayide hammadde olarak, eritmeyi arttırmak için bazı cam harmanlarına ya da buğulu camlar gibi olanlara belli özellikler katmak için kullanılır. Genelde kullanıldığı gibi floridler, fluorspat şeklinde harmana eklendiğinde, kontrol edilemeyen yayılımlar çok fazla olabilir.
Ağır Metaller (örneğin, V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Bazı hammaddelerde, girilen cam kırıklarında ve yakıtlarda saf olmayan bir şekilde bulunur. Cam hamuru sanayisinde eritici ve renk verici maddeler olarak kullanılır (ağırlıklı olarak kurşun ve kadmiyum). Bazı özel cam formülasyonlarında (kurşun kristal ve bazı renkli camlarda) kullanılır. Selenyum renklendirici (bronz cam) ya da bazı saydam camlarda renk açıcı olarak kullanılır.
Karbondioksit	Yanma sonucu oluşur. Harman maddeler (mesela soda külü ve kireç taşı) içindeki karbonun ayrışması sonucu yayılır.
Karbonmonoksit	Yanma sırasında, özellikle sıcak üfleme döküm ocaklarında ortaya çıkar.
Hidrojen Sülfür	Fırın parçalarındaki koşulların düşmesinden dolayı sıcak üfleme döküm ocaklarında hammaddelerden ya da yakıt sülfüründen oluşur.

Eritme çalışmaları sonucu havaya salınan emisyonların kısa açıklaması

Üretim faaliyetlerinden çıkan emisyonlar farklı sektörlere göre büyük ölçüde farklılık gösterir ve bunlar, belli sektör bölümlerinde ele alınmaktadır. Birçok sektörde kullanılan eritme teknikleri benzerlik göstermekle birlikte, sonraki çalışmalar daha çok sektöre özeldir. Havaya yayınlan emisyonlar şunlar sonucu ortaya çıkabilir: kaplama çalışması ve/veya kurutma, ikincil işleme (kesme, parlatma, vb) ve bazı şekil verme çalışmaları (maden yünü ve seramik elyaf gibi).

Genel olarak, su alanına yayılan emisyonlar nispeten azdır ve sadece cam sanayine özel olan birkaç tane husus vardır. Bununla birlikte, bazı sektörlerde daha fazla dikkate alınması gereken faaliyetler bulunmaktadır ve bunlar belli sektör bölümlerinde, özellikle de ev camı, özel cam ve sürekli filaman cam elyafta, ele alınmaktadır.

Birçok sektördeki bir özellik sektör içinde yaratılan cam atığın büyük bir bölümünün tekrar fırına geri gönderilmesidir. Bunun önemli istisnaları sürekli filament sektörü, seramik elyaf sektörü ve özel cam ve ev camı sektörlerindeki oldukça nitelikli hassas ürünleri üretenlerdir. Maden yünü ve cam hamuru sektörleri, fırına gönderilen atık miktarında, bazı taş yünü fabrikaları için sıfırdan %100'e çıkabilen düzeylerde farklılık gösterir.

5) MEİT'in Belirlenmesindeki Teknikler

Cam sanayindeki birçok sektör, ömürleri on iki yıla kadar çıkabilen, sürekli çalışan büyük fırınlar kullanır. Bu fırınlar büyük sermaye sorumluluğunu ve fırınların sürekli çalışmasını ifade eder ve periyodik yenileme süreçteki yatırımın doğal döngüsünü sunar. Eritme teknolojisindeki önemli değişiklikler, eğer fırının yenilenmesi ile aynı döneme denk geliyorsa ekonomik açıdan büyük ölçüde gerçekleştirilir ve bu durum karışık ikincil vergi indirimi ölçütleri için de geçerli olabilir. Ancak, ikincil tekniklerin yerleştirilmesi de dahil olmak üzere fırın çalışmasındaki bir gelişme çalışma süresince mümkün olabilir.

Bu özet, kısaca eritme çalışmalarından ve üretim faaliyetlerinden çıkan her maddenin kontrol edilmesi için esas tekniklerin ana hatlarıyla anlatıyor. Bölümde ağırlıklı olarak cam işlemlerde en çok dikkate değer emisyonlar havaya salınanlar olduğundan bu emisyonlar üzerine odaklanmaktadır. 4. bölüm, her tekniğin detaylı açıklamasını vermekte ve tutturulan emisyon düzeylerini, teknik uygulanabilirliğini, finansal konuları ve etki eden diğer hususları açıklamaktadır.

Partiküllü Madde

Partikül emisyonlarını kontrol etmek için teknikler genellikle elektrostatik çöktirici ve torba filtreler olan ikincil ölçümleri ve esas ölçümleri içerir. .

Elektrostatik çöktirici (EP) bir dizi yüksek voltaj boşalmış elektrot ve buna eşdeğerde toplayıcı elektrotlardan oluşur. Partiküller yüklenir ve sonra elektrik alanının etkisi altında gaz akışından ayrılır. EP'ler 0.1 (im'den 10 (im alanına oldukça etkidir ve tüm alandaki toplama etkinliği %95-99 arasında olabilir. Aktif performansı esas olarak atık gaz özellikleri ve EP tasarımına bağlı olarak değişiklik gösterir. İlke olarak, bu teknik, (patlama riskinden dolayı taş yünü döküm ocakları haricinde) bütün sektörlerdeki yeni ve var olan tesislere uygulanabilir. Maliyetlerin, özellikle alan sınırlamaları olan mevcut fabrikalar için daha yüksek olması muhtemeldir.

Birçok uygulamada, iyi tasarlanmış iki ya da üç aşamalı EP'nin 20 mg/m³'e erişmesi beklenilebilir. Yüksek etkiye sahip tasarımlar kullanıldığında ve uygun şartlar altında düşük emisyon düzeyleri genellikle mümkün olabilir. Maliyetler, istenilen performansa ve atık gaz hacmine bağlı olarak büyük ölçüde değişir. Sermaye maliyetleri (asit gazın yıkanması da dahil olmak üzere) genel olarak 0.5 ila 2.75 milyon dolar avro arasındadır ve yıllık işletme maliyetleri 0.03 ila 0.2 milyon avro arasında değişir.

Torba filtre sistemleri, gazı geçiren ama tozu tutan, dokuma membran kullanır. Toz, dokumanın üzerinde ve içinde birikir. Yüzey tabakası büyüdükçe hakim filtre orta seviyeli hale gelir. Gaz akışının yönü, torbanın içinden dışarı doğru ya da dışarıdan içeri doğru olabilir. Dokuma filtreler yüksek etkiye sahiptir ve toplama becerisinin %95-99 arasında olması beklenilebilir. 0.1 mg/m³ ile 5 mg/m³ arasında partikül emisyonları tutturulabilir ve çoğu uygulamada seviyelerin sürekli olarak 10 mg/m³'ün altında olması beklenilebilir. Bu düşük seviyeleri tutturma kabiliyeti, tozların dikkate değer düzeyde metal içermesi durumunda önemli olabilir ve düşük metal emisyonlarının tutturulması gerekir.

İlke olarak, torba filtreler bütün sektörlerde, yeni ve mevcut tesislere uygulanabilir. Ancak, bazı koşullar altında kör etme ihtimalinin olmasından dolayı bütün uygulamalar için tercih edilen bir seçenek değildir. Birçok durum için bu zorluklara teknik çözüm bulunabilir, ancak bunlar maliyetli olabilir. Sermaye ve işletme maliyetleri önemli ölçüde EP'ler ile kıyaslanabilir.

Ana kontrol teknikleri esas olarak hammaddedeki değişimlere ve fırın/yanma farklılaşmasına dayanır. Çoğu uygulama için, torba filtreler ve EP'ler ile karşılaştırıldığında esas teknikler emisyon seviyelerini tutturamaz.

Azot Oksitleri (NOx)

NOx'lerin emisyonunu kontrol etmek için en uygun teknikler, genellikle, ana ölçümler, oksijen yakıtlı eritme, yakıt ile kimyasalların azaltılması, seçici katalitik indirgeme ve seçici katalitik olmayan indirgemedir.

Ana ölçümler, "geleneksel" yanma farklılaşmaları ve özel fırın tasarımları ya da optimize yanma tasarım paketleri olmak üzere iki ana şekle ayrılabilir. Oksijenli yanma da aynı zamanda temel olan ama kendi yapısından dolayı ayrı olarak ele alınan bir tekniktir. Geleneksel yanma değiştirmeleri genellikle azalan hava/yakıt oranına, azalan ön ısıtma sıcaklığına, aşamalı yanmaya ve düşük Nox brülörlerine ya da bu tekniklerin bileşimine dayanır. Sermaye maliyetleri genel olarak oldukça düşüktür ve işletme maliyetleri genellikle yakıt kullanımının azaltılması ve yanmanın artırılması ile düşürülür. Gelişimin çoğu bu alanda yapıldı, ama başarılı emisyon azaltmaları açık bir şekilde başlangıç noktasına bağlı. NOx oranında %40-60'lık azalma az rastlanan bir durum değil ve bazı uygulamalar için 650 - 1100 mg/Nm³'ten daha az emisyon düzeyleri başarılabildi.

LoNOx eritici gibi, NOx emisyonlarını azaltan özel fırın tasarımları geliştirildi. Bu tasarımlar oldukça başarılı oldu, ancak kullanılabilirliklerini sınırlayan belli işlem kısıtlamaları bulunuyor. FENIX işlemi, ana ölçümlere dayanan ve belli bir fırına uyarlanabilen yanma optimizasyon paketidir. 1.1 kg/ton civarında 510 mg/Nm³ sonuçlarının elde edildiği bildirildi, ancak dokümanın hazırlanması süreci için örnek sayısı sınırlı.

Oksijen-yakıt yakma, yanan havanın oksijen ile yer değiştirmesini içerir. Nitrojenin çoğunun yanma atmosferinden çıkarılması atık gaz oranını yaklaşık üçte iki oranında azaltır. Böylelikle, atmosferdeki nitrojeni ateş alma sıcaklığına kadar ısıtmaya gerek kalmadığından enerji tasarrufu mümkün olabilir. Sadece yanma atmosferindeki nitrojen, yani nitratin parçalanmasından ve herhangi bir parazitik havadan gelen nitrojen, oksijen/yakıttaki artık azot olduğundan termal NOx'in oluşması büyük ölçüde azalmış olur.

Oksijen-yakıt yanması prensibi çok iyi oluşturulmuştur ve prensibin bütün sanayiye uygulanabileceği düşünülebilir. Ancak, teknik, bazı sektörler (özellikle düz cam ve ev camı) için hala yüksek finansal risk taşıyan gelişmekte olan bir teknoloji olarak görülmektedir. Dikkate değer bir gelişim çalışmasına girildi ve fabrika sayısı arttıkça, teknik giderek daha geniş çevre tarafından kabul edilir hale geliyor. Bu teknik etrafındaki hususlar oldukça karışıktır ve bunlar, 4. bölümde ele alınmaktadır. Tekniğin ekonomik anlamda rekabet edebilirliği, oksijen maliyetiyle karşılaştırılınca büyük ölçüde enerji tasarruflarının çapına (ve alternatif azaltma tekniklerinin maliyetlerine) bağlıdır. Tekniğin hem tekniksel açıdan hem ekonomi açısından kapasitesi büyük ölçüde fabrika alanına özel hususlara bağlıdır.

Yakıt ile sağlanan kimyasal azaltma, bir dizi tepkime ile NOx'i N₂'ye kimyasal olarak azaltılması için atık gaza yakıt eklendiği bu teknikleri açıklar. Yakıt yanmaz, ama atık gazın bileşenleri ile tepkimeye girecek şekilde proliz olur. Cam sanayide kullanılmak üzere geliştirilen iki ana teknik 3R işlemi ve Yeniden yanma işlemidir. Bu tekniklerin ikisi de hali hazırda rejeneratif fırınlar ile sınırlıdır. 3R işlemi sadece sanayi içinde uygulanması için geliştirildi. Yeniden yanma işlemi bütün tesis çapında kullanıldı ve ümit vaat eden sonuçlar elde etti. 3R işlemi, yakıtta %6-10 artışa karşılık 500 mg/Nm³'den az emisyon düzeylerine ulaşılmasını başarabilir. Yeniden yanma işlemi gelişimi takip eden benzer düzeylerde emisyon düzeylerini yakalaması umuluyor. Her iki teknik için de artan enerji kullanımı, enerji geri dönüşüm sistemlerinin kullanılması ve ana ölçümler ile tekniklerin bir araya getirilmesiyle büyük ölçüde azaltılabilir.

Seçici katalitik indirgeme (SCR), genel olarak 400 °C civarındaki katalitik yatak içindeki amonyak ile tepkimeye giren NO_x içerir. Cam sanayindeki birçok uygulamada, toz azaltımı ve asit gaz yıkamasını içeren üç aşamalı bir sistemi gerektirecektir. Sistemler normalde %75-95 azalmayı sağlayacak şekilde tasarlanır ve 500 mg/Nm³'den az genel emisyon seviyeleri sağlanılabilir. SCR maliyeti esas olarak atık gaz hacmine ve arzu edilen NO_x azaltma miktarına bağlıdır. Genel olarak, sermaye maliyeti (EP ve yıkama dahil olmak üzere) 1 milyon avro ile 4.5 milyon avro aralığındadır ve 0.075 ile 0.5 milyon avro arasında değişen yıllık işletme masrafları vardır. Prensip, SCR, cam sanayindeki hem yeni hem de var olan birçok işleme uygulanabilir. Ancak, bazı durumlarda teknolojinin uygulanabilirliğini kısıtlayan bir takım hususlar olur. Örneğin, bu teknik, ağır akaryakıtın kullanıldığı cam fırınlar, cam yünü ya da sürekli filament cam elyaf için kanıtlanmamıştır.

Seçici katalitik olmayan indirgeme (SNCR) SCR ile aynı temel üzerinde çalışır; ancak, tepkimeler, daha yüksek sıcaklıkta (800 - 1100°C), katalizöre gerek olmaksızın gerçekleşir. SNCR, toz azaltımını ya da asit gaz yıkamasını gerektirmez. Genel olarak %30-70 sağlanabilen azaltma becerisinde önemli faktör doğru sıcaklık penceresinde yeterli miktarda amonyakın olmasıdır. Sermaye maliyetleri 0.2 ila 1.35 milyon avro arasında değişir ve işletme maliyetleri, fırının büyüklüğüne bağlı olarak, yıllık 23000 ila 225000 arasındadır. Prensip, yeniler ve eskiden var olan fabrikalar da dahil olmak üzere bütün cam işlemlerine uygulanabilir. SNCR'nin uygulanabilirliğindeki tek sınırlama, atık gaz sisteminde, uygun tepkime süresi için doğru sıcaklığın sağlanabildiğini gösteren bir belirtecin sunulup sunulmamasıdır. Bu, mevcut fabrikalar ve rejeneratif fırınlar için özellikle anlamlıdır.

Sülfür Oksitleri (SO_x)

SO_x emisyonlarının kontrolü için esas yöntemler yakıt seçimi, harman formülasyonu ve asit gaz yıkamasıdır.

Petrol yakılan işlemlerde SO_x'in ana kaynağı yakıt içindeki sülfürün oksitlenmesidir. Harman maddelerinden çıkan SO_x'in miktarı camın türüne bağlı olarak değişir, ancak petrol yandığında yakıttan çıkan SO_x emisyonları bu harman maddelerinden daha ağır gelir. SO_x emisyonlarını azaltmanın en açık yolu yakıtın sülfür bileşenini azaltmaktır. Akaryakıt çeşitli sülfür derecelerinde (<%1, <%2, <%3 ve >%3) olabilir. Doğal gazın yapısında sülfür yoktur. Yakıtı düşük sülfürlü içeriğe dönüştürme genel olarak yüksek yakıt fiyatları haricinde maliyetlerin artmasına neden olmaz. Gaz yakmaya dönüştürme farklı brülörler ve başka bir dizi değişikliği gerekli kılar. Çeşitli yakıt fiyatları, büyük ölçüde zamana göre ve üye devletler arasında farklılık gösterir; ancak, genel olarak, düşük sülfürlü yakıtlar daha pahalıdır. 5. bölümde açıklandığı üzere, yakıtın fiyatlandırılmasına ve elde edilmesine etki eden finansal ve siyasi hususlar, bu dokümanın kapsamı dışında kalan yakıt seçimi olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte, doğal gazın kullanıldığı yerlerde SO_x emisyonları genellikle daha düşük, petrolün yakıldığı yerlerde ise %1 ve bundan daha az sülfür düzeyi MET (Mevcut En İyi Teknik – Best Available Technique-BAT) olarak kabul edilecektir. Eşdeğer emisyon düzeylerinin tutturulması için azaltımlar kullanıldığı takdirde, yüksek sülfür içeriğinde yanan yakıtlar da MET'i temsil edebilir.

Geleneksel cam yapımında sülfatlar, harman maddelerindeki esas SO_x emisyonları kaynağıdır. Sülfatlar çoğunlukla maddeleri seyreletmek için kullanılır ve ayrıca, maddelerin oksitlenmesi için önemlidir. Birçok modern cam fırınlarında harman sülfatlarının düzeyi, cam türüne bağlı olarak değişen en az uygulanabilir düzeylere kadar azaltıldı. Harman sülfatlarının azaltılması çerçevesindeki konular Alt Bölüm 4.4.1.1'de, filtre/EP tozunun geri dönüşümü ile ilgili konular Alt Bölüm 4.4.3.3'te ele alınmaktadır.

Taş yünü üretiminde önemli SO₂ emisyonu kaynakları (kok kömürüne ek olarak), üfleme fırınlarının kömür kırıntıları ve harman içindeki çimento briketleridir. Düşük sülfür koku ve kömür kırıntıları ekonomik taşıma mesafeleri ile oldukça kısıtlıdır. Bazı uygulamalar için sınırlı düzeyde beyaz elyafın üretimi haricinde, kömür kırıntıları birçok harmandan genel olarak ayıklanabilir. Atık çimento briketlerin kullanımı, atığın en aza indirilmesi ile genellikle belli özelliklerle bağlı olan SO_x emisyonunun azaltılması arasındaki dengeyi içerir ve asit gaz

yıkamasının kullanımı ile birlikte düşünülmelidir. Bu konu, ana dokümanın 4 ve 5. bölümlerinde ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır.

Kuru ve yarı kuru temizlemenin çalışma prensipleri aynıdır. Reaktif (emici) madde verilir ve madde, atık gaz akışı içinde dağılır. Bu madde, SO_x türleri ile, atık gaz akışından bir elektrostatik ayırıcı ya da torba filtre sistemi ile çıkartılması gereken bir katı oluşturacak şekilde tepkimeye girer. SO_x'i çıkarması için seçilen emiciler aynı zamanda diğer asit gazlarını yok etmekte de etkilidir. Kuru işlemden emici, (genellikle formülü Ca(OH)₂, NaHCO₃, ya da Na₂(CO)₃ olan) kuru bir pudradır. Yarı kuru işlemden emici, (genellikle formülü Na₂CO₃, CaO ya da Ca(OH)₂ olan) süspansiyon ya da solüsyon şeklinde eklenir ve su buharı gaz akışını soğutur. Teknikler ile sağlanan azaltımlar atık gaz sıcaklığı, eklenilen emici maddenin tür ve miktarı (ya da daha açık bir ifade ile, reaktant ile kirlenici madde arasındaki mol oranı) ve emici maddenin dağılması da dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlıdır. Alt bölüm 4.4.3.3, çeşitli emici maddeler ve işlemler ile elde edilen etkileri genel olarak açıklamaktadır.

Teknik olarak mümkün olduğu yerlerde sülfatlı atık da dahil olmak üzere, filtre tozunun tamamen geri dönüştürülmesi, doğal olarak çevresel ve ekonomik bir tercih olarak düşünülür. SO_x emisyonlarının genel olarak azaltılması, (kütle balansı etkisi sonucu) hammaddedeki sülfat yerine filtre tozunun konulması ile elde edilen kaynak ile sınırlıdır. (Bu, açıkça, sülfür girdisini genel olarak azaltmak için diğer uygun temel ölçütlere bir eklemedir.) Bu nedenle, asit gaz emisyonlarını azaltmak için, toplanan maddelerin bir bölümü için bir çıkış yolu düşünmek gerekli olabilir. Çevre için genel anlamda en iyi üretimi hangisinin gösterdiğini düşünmek sıklıkla bölge odaklı olabilir ve potansiyel olarak çakışan atık azaltılması özellikleri ile SO_x emisyonunun azaltılması özellikleri arasında bir denge kurmayı içerebilir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda, MEİT'e uyan emisyon düzeyleri konusunda karar vermede sülfür dengesi işlemi esas alınacaktır.

Kapalı filtre toz geri dönüşümü döngülerinde, bugün gözlenen SO_x emisyon düzeyleri, genel olarak, doğal gaz yanması aralığındadır ve %1S akar yakıt için 200 - 800 mg/Nm³ düzeyine denk gelir. Kurulu SO_x temizleme sistemlerinin çoğu, verimli yenileyici türdeki fırından sağlanan atık gaz sıcaklığı olan 400 °C civarındaki sıcaklıkta kuru kireç temizlemesi ile çalışır. Bu sıcaklıklarda SO_x'un %50 civarında azaltılması sağlanabilir. 200 °C civarındaki bir sıcaklıkta ve nemli havanın olduğu bir ortamda daha fazla durumun dikkate alınmasını içerir.

SO_x temizleme, oldukça teknik çalışma gruplarını da içine alan birçok tartışmanın yaratıldığı bir hayli karışık bir alandır. Bu nedenle 4 ve 5. bölümlerde sunulan tartışma ve açıklamalar bütünüyle dikkate alınması esastır.

Florid (HF) ve Kloridler (HCl)

HF ve HCl emisyonları genellikle, harman maddelerinde, ya saf olmayan bir şekilde bulunan ya da belli bir ürün ya da cama imal özellikleri kazandırmak için bilinçli bir şekilde katılan florid ve kloridlerin, buharlaşmasından kaynaklanır. Bu emisyonların azaltılması için ana teknikler harman değiştirme ya da temizlemedir. Temizleme, genellikle, hammaddelerin seçimi yeterli olmadığı ya da temizleme, başka parçaları kontrol etmek için kullanıldığı zamanlarda uygun görülmesine rağmen, halojenürlerin saf olmayan bir şekilde bulunması durumlarında, emisyonlar genel olarak hammadde seçimi ile kontrol edilebilir. Halojenürler, belli özellikleri göstermek için kullanıldığında, başka yollarla aynı özelliklerin kazandırılması için iki ana temizleme ya da harman formülasyon yaklaşımı vardır. Sürekli filament cam elyafta sürekli filament cam için bazı başarılar elde edildi.

Eritmesi dışındaki faaliyetlerden çıkan emisyonlar

Üretim sürecinde ortaya çıkan emisyonlar sektöre hastır ve ana dokümanın 4.5 alt kısmında detaylı olarak açıklanmaktadır. Maden yünü sektörü haricindeki emisyonlar genellikle eritme çalışmalarındakinden daha düşüktür. İndirim teknikleri genellikle geleneksel toz toplama ve termal oksitmeli temizleme tekniklerine dayanır.

Maden yünü işlemlerinde, tutkal sistemlerine dayanan, organik reçinenin uygulanması ve kurutulmasında dikkate değer derecede emisyonların çıkması potansiyeli vardır. Bu emisyonların kontrol edilmesi teknikleri ana dokümanın 4.5.6 alt bölümde ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Suya geçen emisyonlar

Genel anlamda su ortamına geçen emisyonlar, nispeten daha azdır ve cam sanayine özel olan esas olarak sadece birkaç sorun vardır. Su esas olarak temizleme ve soğutma için kullanılır ve standart teknikleri kullanmak için kolaylıkla geri dönüştürülebilir ya da süzdürülebilir. Belli organik kirlenme sorunları maden yünü ve sürekli filament cam elyafı işlemlerinde ortaya çıkar. Ağır metal (özellikle kurşun) sorunları özel cam, cam hamuru ve ev camı işlemlerinde ortaya çıkabilir. Aşağıdaki tablo, suya geçen emisyonların muhtemel esas teknikleri göstermektedir.

Fiziki/Kimyasal Arıtma	
• Elekten geçirme	• Nötralizasyon
• Yüzeyden alma	• Havalandırma
• Çözme	• Çökeltme
• Santrifüjleme	• Katılaştırma ve topaklandırma
• Filtreleme	
Biyolojik Arıtma	
• Aktif Çamur	
• Biyofiltreleme	

Cam sanayi için kullanılabilecek su arıtma tekniklerinin listesi

Katı Atık

Cam sanayinin esas özelliği nispeten daha az katı üreten çalışmaların çoğunlukta olmasıdır. İşlemlerin çoğu ikincil ürün akışlarına içten bağlantısı yoktur. Ana işlem atıkları kullanılmamış hammaddeler, ürüne dönüştürülememiş atık cam ve atık ürünüdür. Diğer katı atıklar, emisyon azaltma aracı ya da bacalarda birikmiş olan ateşe dayanıklı atıkları ya da tozları içerir. İplikli olmayan atıklar genel olarak kolayca işleme tekrar sokulabilir. Diğer atıkların geri dönüştürülmesi için olan teknikler ise geliştirilmeye devam ediyor. Atık geri dönüşümünün kapsamı, finansal dürtüler arttıkça, özellikle de atık imhası masrafları için, geliyor. Temel işlem kalıntılarının cam sektöründe rastlanılır ve bunların kontrol edilmesi teknikleri ana dokümanın 4.7 alt kısmında ele alınmaktadır.

Enerji

Cam yapımı oldukça enerji isteyen bir imalat sürecidir ve enerji kaynağı tercihler, ısıtma tekniği ve ısı geri kazanımı yöntemi fırın tasarımının ve imalat sürecinin ekonomik başarısının merkezinde yer alır. Aynı tercihler, çevre açısından başarılı olmayı ve eritme çalışmasının enerji verimliliği de etkileyen önemli unsurlardır. Genel açıdan, camı eritmek için gerekli olan enerji, cam yapımı için gerekli olan enerjinin %75'inden fazlası olarak hesaplanır. Eritme enerjisinin maliyeti cam tesisleri için en büyük işletme maliyetlerinden birisidir ve işletmeciler için enerji kullanımı azaltmak için açık bir güdüdür.

Enerji kullanımını azaltmak için esas teknik aşağıda sıralanmaktadır ve ana dokümanda ayrıntılı olarak ele alınmaktadır:

- Eritme tekniği ve fırın tasarımı (jeneratörler, ısı geri kazandırıcılar, elektrikle eritme, oksijen-yakıt yakma ve elektrik yüklemesi).
- Yanma kontrolü ve yakıt seçimi (düşük NO_x brülörleri, stokiyometrik yanma, petrol/gaz yakma).
- Kırık cam kullanımı
- Atık ısı kazanı
- Kırık cam/harman ön ısıtma

6) MEİT Değerlendirmelerinin Özeti

5. bölüm, cam sanayide kirliliğin bütüncül koruma ve kirliliğin kontrolünün sağlanması için mevcut en iyi teknikler konusunda değerlendirmeleri sunar. Bölüm bir giriş, genel bölüm ve belli sektörler üzerine değerlendirmeleri içerir. Bölüm 5'te mevcut tesisin başarısı, yeni bir donanım önerisi için değerlendirmede bulunmak ve böylece –o donanım için şartlar temelinde- uygun “MEİT” kararının verilmesi için yardımcı olunma amacı taşır. Sunulan rakamlar emisyon sınırı değerleri değildir ve o şekilde anlaşılmamalıdır. Her bir durum için uygun emisyon sınırı değerleri EKÖK Direktifinin amaçları ve yerel kaygılar dikkate alınarak belirlenmelidir.

Bölüm 5, Teknik Çalışma Grubu dahilindeki birçok tartışma ve yeni planlamalar takip edilerek yazıldı. Değerlendirmelerin kapsamı ve nüansları çok önemlidir ve bu unsurlar ve çalışmaları arasında uyum sağlanmaksızın bu bölümün ve şu anki durumun anlaşılması için gerekli tartışmaların özetlenmesi zordur. Bu özet, 5. bölümdeki temel değerlendirmeleri genel olarak açıklar, ancak her şeyin tam olarak anlaşılması için dokümanın tümünün ve özellikle de 5. bölümün hepsine başvurulması esastır.

Bu özet, sanayi genelindeki hususların bazılarını ve ağırlıklı olarak yaklaşıma dayanan ana fikri kullanan ana genel değerlendirmeleri özetler. Bu çalışmadan ortaya çıkan değerlendirmelerden biri cam sanayisinin, belli tekniklerin ortaya konulmasının genellikle uygun olmamasına neden olacak kadar kendi içinde çok farklılık gösterdiği oldu. 5. bölümde alınan genel yaklaşım, mevcut en iyi teknikleri gösteren performans seviyelerinin belirlenmesi, ama aynı zamanda bu performans seviyelerinin tutturulmasının en iyi yolunun işlemde işleme değişeceğini bilmektir.

Genel

Cam sanayinde birçok tesisin önemli bir özelliği, kapsamı değişiklik göstermekle birlikte fırınların yeniden yapılandırılmasıdır. Yeniden yapılandırmaya kadar belli tekniklerin uygulanmasının düzenlenmesinin teknik ve ekonomik avantajları olabilir, ancak bu her zaman için geçerli değildir. Döngünün yeniden yapılandırılması aynı zamanda MEİT açısından uygun hareket tarzının karar verilmesi için fırının yaşı önemlidir.

5.bölüm için işaret edilen koşullar:

- Yanma gazları için: kuru, sıcaklık 0°C (273K), basınç 101.3 kPa, hacim olarak oksijen %8 (sürekli eriticiler), hacim olarak %13 (aralıklı eriticiler). Oksijen yakıtla yanan sistemler için, %8 oksijen olarak kendisini gösteren değer olarak küçüktür ve bu sistemlerden çıkan emisyonlar daha sonra kütle olarak tartışılmalıdır.
- Diğer (gaz çıkışında küllenme olmaksızın sertleştirme ve kurutma fırınlarından çıkan emisyonları içeren) gazlar için: sıcaklık 0°C (273 K), oksijen ya da su buharı yoğunlaşmasının doğrulanması olmaksızın basınç 101.3 kPa.

Ana dokümanda, MEİT ile sağlanan emisyon seviyeleri, fırın teknikleri arasında karşılaştırma sunmak ve ilgili çevresel etki konusunda gösterge sunmak için emisyon yoğunlaşması (mg/m³) ve kütle emisyonu (kg/ton olarak eritilen cam) için aralık şeklinde verilmektedir.

fosil yakıtın kullanıldığı fırınlar için kütle ile yoğunluk arasındaki ilişki ağırlıklı olarak eritme için kullanılan belli enerji tüketimine bağlıdır, ancak bu eritme tekniği, fırın büyüklüğü ve camın türü de dahil olmak üzere birçok unsura bağlı olarak önemli derecede farklılık gösterir. Kendi içinde farklılık gösteren böyle bir sanayi kolu için kendi içinde bu kadar farklılık gösteren bir endüstride, sayısal sonuçların değerini azaltabilecek kadar geniş değer aralıkları sunmaksızın yoğunluklar ile kütle emisyon rakamları arasında doğrudan bağlantı kurmak oldukça güçtür. Bu yoğunlaşma seviyelerine “genel olarak eşit” kütle emisyon derecelerini belirlemek için modern enerji verimliliği olan fırınlara dayanan gösterici dönüştürücü faktörler kullanmak ve MET temeli olarak yoğunlaşma verilerini vermektir.

Bu yönlendirici özeti amaçları için MEİT sonucunda ortaya çıkan emisyon dereceleri sadece yoğunlaşma için verilir. Buna bir istisna oksijen yanma gibi ele alınan tekniklerdir ve kütle emisyonları performans seviyesini belirlemenin en mantıklı yoludur. Eritilen her bir ton camın kütlesi için 5.2 alt bölümünde ve 5. bölümdeki sektör bazlı bölümlerde ele alınan dönüştürme faktörlerine işaret edilmelidir.

Partiküllü Madde/Toz

Toz emisyonlarını dikkate alan değerlendirme, bütün sektörler için geniş çerçeveli olarak karşılaştırılabilir oldu ve aşağıdaki paragrafta özetlendi. Bu değerlendirme için iki küçük istisna geçerli oldu. Seramik elyaf için MEİT sonucunda ortaya çıkan emisyon düzeyi, partikül maddesinin yapısından dolayı 10 mg/Nm^3 ’den az olacağı düşünüldü. Cam hamuru işlemleri için genel değerlendirme aşağıda verildi, ancak bu seviyelerin tutturulabilmesi için bazı tesislerde bir derede gelişimin gerekli olabileceği onaylandı.

Genel olarak, cam sanayisinde fırınlardan çıkan toz emisyonlarının kontrolü için, MEİT’in, kuru ya da yarı kuru asit gaz temizleme sistemi ile birlikte, ya elektrostatik çöktürücünün ya da uygun yerlerde çalışan torba filtre sisteminin kullanımı olması düşünüldü. Bu teknikler sonucu ortaya çıkan MEİT emisyon seviyesi, genellikle 0.1 kg/ton ’dan daha az eritilmiş cam için $5 - 30 \text{ mg/Nm}^3$ aralığındadır. Verilen aralığın az olan kısmındaki değerlerin genellikle torba filtre sistemleri için geçerli olması beklenilir. Bu rakamla, 30 dakikadan az ve 24 saatten fazla olmayan periyodun geleneksel ortalamasının alınmasına dayanır. Bazı durumlarda, metal emisyonları için MEİT’in uygulanması toz için daha düşük emisyon seviyeleri ile sonuçlanabilir.

İkincil toz azaltımının çevresel faydalarının bütün durumlarda daha yüksek giderleri ortaya koyduğu konusunda Teknik Çalışma Grubundaki bazı görüşler farklılık gösterdi. Ancak, genel ortak fikir dengeli ikincil toz azaltımının, eşdeğerde emisyonlar ana ölçümlerle tutturulamazsa MET’i ifade ettiğidir. Ana teknikler ve ikincil tekniklerin olumlu ve olumsuz yanları etrafı olarak 4.4.1.4 ve 5.2.2 numaralı alt bölümlerde ele alınmaktadır.

Azot Oksitleri

Bu madde, sağlam MEİT değerlendirmelerine ulaşmada en zor olanlarından biri olduğu kanıtlandı. Özellikle de birden fazla sektöre uygulanabilecek genel emisyon seviyelerinin belirlenmesi zordur. Bu nedenle, bu bölümde verilen sayılar 5. bölümde sunulan değerlendirmeleri ifade eden bir özet olarak sadece değerlendirilmelidir. Ana dokümana bakmaksızın bu özetteki bilgilere dayanarak MEİT izin koşulları hakkında bir değerlendirmeye varmak tamamen bu kapsam dışında verilere alınmasına neden olabilir. Bu karşılaştırma için zorunlu ya da tercihi gereksiz ölçütlere yol açabilir.

Azot oksitleri için MEİT’i yansıtan tekniklerin, özellikle de kullanılacak eritme tekniğinin seçilmesi çoğunlukla üretim alanıyla ilgili hususlara ve fırının yaşına bağlı olacaktır. Bazı teknikler farklı uygulamalarda farklı sonuçlar doğurabilir ve belli koşullara göre değişen maliyetler ortaya çıkarabilir.

Cam kaplar, düz cam, özel cam (su camı da dahil olmak üzere), maden yünü ve cam hamuru imalatları için, genellikle MEİT'i ortaya koyan teknikler sonucunda ortaya çıkan azot oksitleri (NO_2 olarak gösterilir) için emisyon seviyesi 500 - 700 mg/Nm^3 'dir. MET'e eşlik eden emisyon seviyesi aynı olmasına rağmen, bu seviyelerin tutturulması için uygulanabilecek teknikler, buna karşılık gelen masraflar ve uygulamaya bağlı olan zorluk sektörler arasında değişiklik gösterir.

Daha fazla değerlendirmenin gerekli olduğu ve yukarıda işaret edilen emisyon seviyelerinin uygun olmayabileceği çeşitli durumlar vardır. Mesela, nitrata ihtiyaç duyulduğunda, belli geri dönüştürülmüş maddeler kullanıldığında ya da fırın çalışmasının sonuna yaklaştığında. Bu değerlendirmeler çok önemlidir ve 5. bölümün sektörlerle ilgili olan bölümünde ele alınmaktadır.

Dokümanın yazıldığı dönemde, sürekli filament sektörü, NO_x kontrolü konusunda, MEİT konusunda sağlam yargıların verilmesini zorlaştıran bir dönüşüm süreci içindeydi. Ana ölçümlerde bazı iyi sonuçlar elde edilmiş olmasına ve SNCR'nin kullanımı önünde önemli teknik engeller olmamasına rağmen, en çok gelecek vaat eden teknik oksijen yakıtlı eritme olarak ortaya çıktı. Bu sektörde genel olarak azot oksitleri (NO_2 olarak gösterilir) için MET'in, muhtemelen oksijen yakıtlı eritme olacağı ve MET'e eşlik eden emisyon seviyesinin de eritilmiş camın 0.5 - 1.5 kg/ton 'u olacağı düşünülür. Bu değerlendirme sağlam bir yargı değil, sadece dokümanın yazıldığı dönemde elde edilen bilgiler temelinde dengeli bir yargılamadır. Tekniğin hala finansal anlamda bir risk teşkil ettiği bilinmektedir, ancak orta vadede daha geniş kesim tarafından MET olarak kabul edilir olacaktır. Diğer tekniklerin uygulanabilir olduğu durumlarda, hava yakıt yanmalı fırınlar için karşılaştırılabilir bir MEİT emisyon seviyesinin 500 - 700 mg/Nm^3 aralığında olacağı düşünülmektedir.

Ev camı sektörü için NO_x seviyeleri konusunda da aynı şekilde sağlam değerlendirmelerde bulunmak güçtür. Sektöre göre, NO_x kontrolü için etkiye bulunan seçenekler bazı hususlar vardır. Bunlardan bazıları cam kaplar ile karşılaştırılarak oluşturulabilir. Yani, düşük üretim hacimleri, düşük ortalama fırın büyüklüğü, cam kırığı kısıtlamaları, yüksek sıcaklıklar ve daha uzun direnç süreleri. Bütün bu faktörler belli daha yüksek enerji tüketimine yol açar ve NO_x oluşum potansiyelini artırır. Genel anlamda (ya yüzde 100 ya da ağırlık olarak kullanılan) elektrikli eritme ekonomi anlamında uygundur ve özellikle kurşun kristali, kristal cam ve opal camı üretimi için MEİT olarak düşünülür. Bu durumda MEİT'e eşlik eden emisyon seviyesi genel olarak eritilmiş camın 0.2 - 1.0 kg/ton seviyelerinde olacaktır.

Elektrikli eritmenin ekonomik anlamda uygun olmadığı durumlarda başka bir dizi teknik kullanılabilir. Ev camı sektörü birçok çeşitte fırını kullanır ve en uygun teknik, genel olarak tesise bağlı olacaktır. Tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması için gerekli zamanın verilmesi, azot oksitleri için MET'e eşlik eden emisyon seviyesinin 500 - 700 mg/Nm^3 (ya da oksijen yakıtlı eritme için eritilmiş camın 0.5 - 1.5 kg/tonu) olacağı öngörülmektedir. Bu ana ölçümlerin (yanma değişikliklerinin), oksijen yakıt yakma, SBNCR, SCR ya da 3R/yeniden yanmanın (sadece yenileyici fırınlar) kullanılmasına (ya da bunların kombinasyonlarına) dayanır.

Cam yünü döküm fırınları genel olarak NO_x emisyonlarının önemli derecede yükseltmez ve belli kontrol olmaksızın eritmenin 0.5 $\text{kg}/\text{tonundan}$ daha az emisyonlar tutturulabilir. Tank fırınlar kullanıldığında MEİT'e eşlik eden emisyon seviyesinin cam yününün üretimine eşit olacağı düşünülür. Seramik elyaf sadece elektrik fırınlarında üretilir ve NO_x emisyonları genellikle eritmenin 0.5 $\text{kg}/\text{tonundan}$ açık bir şekilde daha azdır.

Sülfür Oksitleri

Her bir sektör için MET ile ortaya çıkacak emisyon seviyelerinin belirlenmesi, birçok birbiriyle ilgili ve bazı durumlarda da birbiriyle çatışan değerlendirmeler nedeniyle karışık bir konudur. Bu hususlar, bu bölümde sadece belirtici özeti sunulan bilgileri içeren 4 ve 5. bölümlerde açıklanmaktadır.

Esas etki yakıtın seçilmesi ve onun sülfür seviyesidir. Bu nedenle, petrol ve gaz yanma için durumlar ayrı olarak ele düşünülmektedir. Ayrıca, bazı formülasyonlar, özellikle de soda lime camları, harman içindeki sülfatların kullanımını gerektirir ve bu gibi formülasyonlar açık bir şekilde daha yüksek kesintisiz SO₂ emisyonlarını göstermeye meyillidir.

Toz emisyonu için birçok MEİT durumu, genellikle asit gaz temizlemeyi de içine alan toz azaltma sistemini içerecektir. MEİT'e eşlik edecek amaçlanan emisyon seviyeleri Bölüm 5'te dikkate alınmıştır. Üretilen sülfatlı su genel olarak jenerasyondan kaçınmak için fırın hammaddesi ile geri dönüştürülebilir. Ancak, camın sülfür için bir çukur olarak kullanılması için genişletilmesinde bir sınır vardır ve sistem, geri, önemli ölçüde geri dönüştürülmüş sülfür miktarının yeniden atılmasında hemen dengeye ulaşabilir. Böylelikle, bütün tozun geri dönüştürülmesi ile temizleyicinin kükürtsüzleştirilmesi etkisi cam kapasitesi ile sülfürün emilmesi için sınırlı olabilir.

SO₂ emisyonlarını daha fazla azaltmak için harici bir yok etme yolunun kullanılmasının gerektiği ya da yakıt sülfür düzeylerinin azaltılmasının pratik olup olmadığı düşünülebilir. Maddelerin geri dönüşümünün üretim alanı dışında geri dönüştürülmesinin ekonomik anlamda uygun olan seçenekleri oldukça sınırlıdır ve mümkün olan çoğu yok etme yolu katı atık akışında sonuçlar doğuran toprak doldurma şeklindedir. Entegre çevresel yaklaşımda SO₂ emisyonlarının azaltılması ve muhtemel katı atık oluşumunun önceliklerinin düşünülmesi ihtiyacı vardır. En uygun yaklaşım işlemde işleme değişiklik gösterebilir ve bundan dolayı, SO₂ ve atık azaltımının öncelikli olduğu durumlarda emisyon seviyeleri sunulur. Pratikte, düşük emisyon seviyesinin tam toz geri dönüşümü ile başarıldığı durumlar vardır.

Aşağıdaki tablo her sektör için MEİT'e eşlik eden ve çeşitli durumlar için emisyon seviyelerini kısaca sunmaktadır. Tekrar belirtmek gerekir ki, aşağıda sunulan sadece özettir ve içerilen ayrıntıların göz önünde bulundurulması için Bölüm 5'e bakılmalıdır.

Sektör	MET Emisyon Seviyeleri (mgSO ₂ /Nm ³)		Açıklamalar
	Gaz yakma	Petrol yakma	
SO ₂ azaltımının öncelikli olduğu cam kaplar	200 - 500	500 - 1200	
Atıkların en aza indirilmesinin öncelikli olduğu cam kaplar	< 800	< 1500	Kütle balansı yukarı değerlerin elde edilmesine izin vermez. *
SO ₂ azaltımının öncelikli olduğu düz cam	200 - 500	500 - 1200	
Atıkların en aza indirilmesinin öncelikli olduğu düz cam	< 800	< 1500	Kütle balansı yukarı değerlerin elde edilmesine izin vermez. *
Sürekli filament cam elyaf	< 200	500 - 1000	Harman içindeki sülfatlar açısından gaz yanmalı 800'e kadar olabilir. Petrol yanmalı için üst sınır tozun geri dönüşümü ile alakalıdır
Ev camı	200 - 500	500 - 1300	Harmanda az sülfat varsa, buru durumda gaz yakma için <200'dür. Üst kısımdaki aralık değerleri toz geri dönüşümüyle ilgilidir.
Su camını içeren özel camlar	200 - 500	500 - 1200	Üst kısımdaki aralık değerleri toz geri dönüşümüyle ilgilidir.
Cam yünü	genellikle <50	300 - 1000	Genellikle düşük seviyede sülfatlı camlar
Atık azaltımı ve geri dönüşümünün öncelikli olduğu taş yünü (kok yanmalı).	(a) < 600 (b) < 1100 (c) < 1400		(a) taş doldurma (b) % 45 çimento ile bağlı briketler (c) Toz tutmayı içeren çimento briketler
SO ₂ azaltımı öncelikli (kok yanmalı) taş yünü.	(a) < 200 (b) < 350 (c) < 420		(a) taş doldurma (b) % 45 çimento ile bağlı briketler (c) Toz tutmayı içeren çimento briketler
Seramik elyaf (elektrikli eritme)	< 0.5 kg/ton eritilmiş		Hacmin duruma bağlı olacağı elektrikli fırınlar sadece.
Cam hamurları	< 200	500 - 1000	Petrol yakımı nadirdir.

MET'e eşlik eden sülfat emisyonu oksitleri hakkında fikir veren özet (SO₂ olarak gösterildi)

Eritmenin neden olduğu diğer emisyonlar

Bölüm 5'de belli sektörler ayrılacak bölümlerde, toz, NO_x, ve SO_x dışında kalan eritme işlemlerinden çıkan emisyonları içeren alt bölümler bulunmaktadır. Bu "diğer emisyonların" en dikkate değer olanları genellikle kloridler (HCl olarak gösterildi), floridler (HF olarak gösterildi) ve metal ve diğer bileşiklerdir. Bazı metaller gruplandırılarak Grup 1 ve Grup 2 olarak isimlendirildi. Bu gruplandırmalar dışında kalan metaller ya yüksek toksitlerinden dolayı ayrı olarak belirtildi ya da düşük toksitlerinden dolayı ayrı bir değerlendirmeyi gerektirmediikleri için sadece toz kategorisi içinde yer verildi. İki grup aşağıdaki tabloda verildi.

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

Metallerin ve bileşiklerinin sınıflandırılması

Bu maddeler il ilgili olan birçok sektör için MET değerlendirmesi genel olarak birbiri ile eşdeğerde. Bu emisyonları kontrol için MET, emisyonları en aza indirmek için, uygun olan durum için asit gaz temizlemesinin eşlik ettiği hammadde seçimi olarak düşünülür. Azaltım teçhizatını korumak ya da SO_x için verilen değerleri elde etmek için asit gaz temizleme her

zaman gerekli olmayabilir. Bu durumda, aşağıda belirlenen seviyeler ana ölçütler tarafından başarılamadığı zamanlarda MET'i tayin etmek için asit gaz temizleme düşünülür. Aşağıda belirtilen kirleticiler için MET'e eşlik eden emisyon seviyeleri şu şekilde düşünülür:

• Kloridler (HCl olarak gösterilir)	<30 mg/Nm ³
• Floridler (HF olarak gösterilir)	<5 mg/Nm ³
• Metaller (gaz + katı hal) (Grup 1 + Grup 2)	<5 mg/Nm ³
• Metaller (gaz + katı hal) (Grup 1)	<1 mg/Nm ³

Cam hamuru ve özel cam sektörlerinde, muhtemel kadyum ve talyumun olduğu bazı durumlar vardır. Bu metal ve bileşikler için MEİT'e eşlik eden emisyon seviyesi <0.2 mg/Nm³ olur. Sürekli filament cam elyaf üretimi için MEİT'e eşlik eden florid emisyonu seviyesi 5 - 15 mg/Nm³'tür. Bu aralığın en düşük seviyesi bileşiklere eklenen florid olmayanlarla, en yüksek seviyesi de florid bileşiklerin eklenmesiyle ilgilidir.

Taş yünü sektöründe MEİT'e eşlik eden emisyonu seviyeleri karbon monoksit ve hidrojen sülfat için de verilmiştir. Bunlar sırası ile <200 mg/Nm³ ve < 5 mg/Nm³'tür.

Takip eden üretim işlemleri

İşlem akışı büyük ölçüde sektörlere ve bunlardaki tesislere göre değişir ve Bölüm 5'teki sektör bazlı bölümlere bakılması gerekir. Ancak, maden yünü haricinde, fikir uyandırması açısından MEİT'e eşlik eden bazı emisyon seviyeleri aşağıda verilmektedir. Bütün sektör ya da kurumlarda maddelerin hepsine karşılaşılmayacaktır ve bazı maddeler, sadece bir sektöre uygulandığından burada yer verilmeyen sektörlerde özel bölümde işaret edilmektedir. Bu hususlara rağmen, ikincil azaltım uygunsu genel olarak kullanılabilecek bazı türde teknikler bulunmaktadır.

• Kloridler (HCl olarak gösterilir)	<30 mg/Nm ³
• Floridler (HF olarak gösterilir)	<5 mg/Nm ³
• Partiküller	<20 mg/Nm ³
• Metaller (gaz + katı hal) (Grup 1 + Grup 2)	<5 mg/Nm ³
• Metaller (gaz + katı hal) (Grup 1)	<1 mg/Nm ³

Suya verilen emisyonlar

Cam sanayideki faaliyetlerden çıkan suyla ilgili emisyonlar genellikle az seviyededir ve bu sanayi koluna özel değildir. Ancak faaliyet sayısı suyla ilgili emisyonların dikkate değer derecede artmasına neden olabilir. Aşağıda verilen emisyon seviyelerinin su alanlarını korumak için uygun olduğu düşünülür ve bu emisyon seviyeleri, genel olarak MEİT'i yansıttığı düşünülen teknikler ile başarılmaması mümkün olan göstergelerdir. Bu seviyelerin şuanda cam sanayisinde elde edilen seviyeleri mutlaka yansıtmamaktadır ama TÇG'nun uzman kararına dayanır.

• Şüpheli Katı Maddeler	<30 mg/l
• Kimyasal Oksijen Talebi (Note1)	100 - 130 mg/l
• Amonyak (Kjeldahl)	<10 mg/l
• Sülfat	<1000 mg/l
• Florid	15 - 25 mg/l
• Arsenik	<0.3 mg/l
• Antimony	<0.3 mg/l
• Baryum	<3.0 mg/l
• Kadmiyum	<0.05 mg/l
• Krom (Total)	<0.5 mg/l
• Bakır	<0.5 mg/l

• Kurşun (Not 2)	<0.5 mg/l
• Nikel	<0.5 mg/l
• Kalay (Not 3)	<0.5 mg/l
• Çinko	<0.5 mg/l
• Fenol	< 1.0 mg/l
• Borik Asit	2 - 4 mg/l
• pH	6.5 - 9
• Maden yağı	<20 mg/l

(Not 1) – Sürekli filament cam elyaf sektörü için bu sayı 200 mg/l olarak düşünülmektedir. Genel olarak kimyasal oksijen talebi oldukça düşüktür ve MEİT'e eşlik eden gerçek seviye su alımına bağlı olabilir. Su alımı özellikle hassas derecelerin altındaysa, bu değer gerekli olabilir.

(Not 2) – Önemli derecede kurşun bileşiklerini kullanan ev camı işlemleri için 1.0 mg/l seviyesini şu anda uygun olduğu düşünülmektedir. 0.5 mg/l seviyesini tutturulmasında önemli bir teknik engel bulunmamaktadır ve uygun tekniklerin geliştirilmesi ve uygulanması için verilen sürede bu değer başarılabilecektir.

(Not 3) – Üretimi iyi duruma getirmek için sıvı temizleyiciler kullanan cam kap işlemleri için 3 mg/l den az emisyon seviyesi çok daha uygundur.

Bazı koşullar altında atık su arıtımına akıtılması işe yarayabilir ya da başka üretim alanı dışı arıtma da aynı zamanda MEİT'i oluşturabilir. Bu yaklaşımın önerildiği durumlarda değerlendirme alınan özelliğin uygunluğuna göre olmalıdır.

7) Proje çıkarımları ve tavsiyeler

Bu bölüm iki kısma ayrılır: bilgi paylaşımı, genel değerlendirmeler ve sonraki işler için tavsiyeler. İlk kısım bilgi paylaşım çalışması için öngörülen zamanı ve mekanizmaları genel olarak açıklamaktadır. Sanayi kolundan ve üye devletlerden önemli derecede bilgi sahibi olundu ve bunlar genel olarak üstün nitelikli bilgiler. Ulaşılabilir bilgiler incelendi ve danışma süreci içinde geçerliliği onaylandı. Bu dokümanın gelecek 4-5 yıl içinde yeniden gözden geçirilmesi tavsiye edilmektedir.

Temel genel görüşler:

- Bilgi paylaşımı başarılı oldu ve teknik çalışma grubunun ikinci toplantısından sonra önemli derecede anlaşmaya ulaşıldı.
- Sanayi kolu kendi içinde oldukça fazla farklılık göstermektedir ve birçok durum için MEİT olarak tek bir tekniğin gösterilmesi genel olarak uygun değildir.
- Sanayinin çevre açısından başarısını arttırması için son yıllarda oldukça çok anlaşmaya varıldı. Ancak daha fazla gelişme/ilerleme ana tekniklerle birlikte aynı zamanda diğer sektörlerde daha yaygın olarak uygulanan ikincil tekniklerin uygulanması ile elde edilebilir.

Gelecekteki çalışma için ana tavsiyeler:

- Ortamlar arası etkileşim konularında daha derinlikli bir değerlendirmenin (tercihen yarısı sayısal olan) yapılması faydalı olabilir.
- Teknik maliyetlerinin biraz daha detaylı değerlendirilmesi MEİT'in belirlenmesinde faydalı olabilir.
- Çalışma gözden geçirildiğinde, enerji verimliliğinin arttırılması için tekniklerin, daha yakın zamana ilişkin ulaşılabilir bilgileri göz önünde bulundurarak daha derin değerlendirmek faydalı olabilir.
- Çalışma yeniden gözden geçirildiğinde, ana emisyon kontrollerindeki ilerleme yeniden değerlendirilmelidir.

- Çalışma gözden geçirildiğinde, řu anda kanıtlanmamış ve ihtilafa düşülen tekniklerin bütün olarak bütün cam sanayi ya da belli uygulamaların yeniden değerdendirmesi yapılmalıdır. Özellikle de sülfür dioksit yok etmek, oksi yakıt yakmak ve SCR konusunda.

ÖNSÖZ

1. Bu dokümanın statüsü

Başka türlü belirtilmediği müddetçe bu dokümanda “Direktif” şeklinde yapılan göndermeler entegre kirliliğin önlenmesi ve kontrolü konusundaki 96/61/EC sayılı Konsey Direktifi’ni ifade eder. Bu doküman AB üye devletleri arasındaki bilgi alış verişinin doğurduğu bir takım sonuçların ve denetlemeye bağlı mevcut en iyi teknikler (MEİT) ve bunlardaki gelişmelerin ele alındığı sanayi kollarının bir parçasını oluşturur. Direktifin 16(2) sayılı maddesine uygun olarak Avrupa Komisyonu tarafından yayınlanmıştır ve bu nedenle, Direktif’in “ulaşılabilir en iyi teknikleri” belirleyen Ek IV’e göre dikkate alınması gerekir.

2. EKÖK’ün İlgili Yasal Yükümlülükleri ve MEİT’in tanımı

Okuyucunun, bu dokümanın çizmiş olduğu yasal kapsamı anlayabilmesinde yardımcı olmak için, EKÖK’ün en çok ilgili olan hükümlerinin bazıları, “mevcut en iyi teknikler” teriminin tanımı da dahil olmak üzere bu önsözde tanımlanmaktadır. Bu tanımlama kaçınılmaz bir şekilde eksik olacaktır ve sadece bilgi vermek amacıyla sunulacaktır. Herhangi bir yasal değeri yoktur ve Direktif’in gerçek hükümlerini hiçbir şekilde değiştirmez ya da bunlara etkiye bulunmaz.

Direktif’in amacı, Ek I’de sıralanan faaliyetlerden doğan entegre kirliliğin, bütün olarak çevrenin üst seviyede korunmasını sağlayacak şekilde önlenmesinin ve kontrol edilmesinin başarılmasıdır. Direktif’in yasal temeli çevrenin korunmasıyla ilgilidir. Direktif’in uygulanması, topluluk sanayisinin sürdürülebilir gelişmesine katkıda bulunacak şekilde rekabet edebilmesi gibi diğer topluluk amaçlarını dikkate almalıdır.

Daha açık ifade edilirse, Direktif, tesislerin kirlileme ve tüketim potansiyeline entegre ve genel bir bakış sağlayabilmek için hem işletme hem de düzenleme kollarına ihtiyaç duyan bazı kategorilerdeki sanayi tesislerine bir izin sistemi sunmaktadır. Bu tür bir bütüncül yaklaşımın genel amacı, bütün bir çevreyi için üst düzey bir koruma derecesi sağlayacak şekilde sanayi işlemlerinin yönetim ve kontrolünü arttırmak olmalıdır. Bu yaklaşımın temelinde yatan, işletmecilere, özellikle çevre açısından başarılarını arttırmalarını sağlayacak mevcut en iyi teknikleri uygulayarak, kirlenmeye karşı bütün uygun önlemleri olmaları gerektiğini söyleyen Madde 3’teki genel ilkedir.

“Mevcut en iyi teknikler” ifadesi, Direktif’in 2(11) sayılı maddesinde, “faaliyet gelişimindeki en etkili ve avantajlı aşama ve onun, önleme amacıyla tasarlanmış emisyon seviyesi değerlerini ya da bunun uygulanabilir olmadığı durumlarda, emisyonları ve onun genel olarak çevreye etkisini azaltmak amacıyla tasarlanmış değerleri sağlamak için belli tekniklerin uygulama açısından uygun olduğuna işaret eden işletme yöntemleri” şeklinde tanımlanmaktadır. Madde 2(11) tanımı şu şekilde açıklamayı sürdürür:

"teknikler" hem kullanılan teknolojiyi hem de tasarlanan, inşa edilen, bakımı yapılan, işletilen ve faaliyeti durdurulan tesisteki yolu içerir;

"mevcut" teknikler ilgili sektörde, ekonomik ve teknik olarak uygun koşullar altında, maliyetler ve avantajlar, tekniklerin kullanılıp kullanılmayacağı ya da yeterli derecede operatöre ulaşılabilir olması kaydıyla, ilgili üye devletin kendi içinde üretilip üretemeyeceği dikkate alınarak uygulanmasını sağlayacak şekilde geliştirilmiştir;

"en iyi" ifadesinin anlamı bütün çevrenin korunması için yüksek genel seviyenin başarılmasında en etkili olandır.

Ayrıca, Direktif’in Ek IV bölümü, “mevcut en iyi teknikler belirlenirken, önlem ve korunma ölçüt ve ilkelerinin muhtemel fayda ve maliyetlerini hatırlatarak, genel ya da özel durumlarda dikkate alınması gereken faktörler” için bir liste içeriyor.

Bu faktörler, Madde 16(2)'ye uygun olarak Komisyon tarafından yayınlanan bilgileri içermektedir.

İzinleri vermekten sorumlu yetkili otoritelerin, izin koşullarını belirlerken Madde 3'te ortaya konulan genel ilkeleri dikkate alması gerekiyor. Bu koşullar, eklenmiş ya da uygun olan eşdeğerdeki parametreler ya da teknik ölçütler ile yer değiştirmiş emisyon sınırı değerlerini içermelidir. Direktif'in 9(4) sayılı maddesine göre, eşdeğerdeki parametre ya da teknik ölçütler olan bu emisyon sınırı değerleri, çevre kalite standartlarına uygunluğu bozmaksızın ve herhangi bir tekniğin ya da belli bir teknolojinin kullanılmasını söylemeksizin, sadece düşünülen tesisin teknik özellikleri, tesisin coğrafik konumu ve yerel çevresel koşulları dikkate alan mevcut en iyi tekniklere dayanır. Bütün durumlarda, izin şartları uzun mesafelerin ya da sınır ötesi kirliliğin en aza indirilmesi konusunda hükümler içermeli ve bütün çevrenin üst seviyede korunmasını sağlamalıdır.

Direktif'in 11. maddesine göre üye devletler yetkili otoritelerin takip etmesini sağladıkları yükümlülüklerle sahiptir ya da mevcut en iyi tekniklerdeki gelişmeler konusunda bilgilidir.

3. Bu dokümanın amaçları

Direktif'in 16(2). maddesi Komisyon'un, "üye devletler ve mevcut en iyi teknikler hususunda düşünülen, içlerinde denetleme ve gelişmelere ortak olan sanayi kolları arasındaki bilgi alış verişini" organize etmesini ve bu alış verişin sonuçlarını yayınlamasını gerekli kılar.

Bilgi alış verişinin amacı rapor 25'te verilmekte ve şunu ortaya koymaktadır: Mevcut en iyi teknikler için bilginin geliştirilmesi ve alış verişinin yapılması Topluluktaki teknolojik dengesizliklerin düzelmesine yardım edecek, sınır değerlerinin ve Toplulukta kullanılan tekniklerin dünya genelinde yayılmasını arttıracak ve üye devletlerde bu direktifin etkili uygulanmasına yardım edecektir.

Komisyon (Çevre DG) Madde 16(2) altındaki çalışmaya yardımcı olması için bir bilgi paylaşım forumu (BPF) kurdu ve bu forum çatısı altında bir dizi teknik çalışma grupları oluşturuldu. Hem BPF hem de teknik çalışma grupları, Madde 16(2)'nin gerekli kıldığı üzere üye devletler ve sanayiden temsilciler içermektedir.

Bu doküman dizilerinin amacı Madde 16(2)'de gerekli kılındı üzere gerçekleştirilen bilgi alış verişini doğru bir şekilde yansıtmak ve izin veren otoriteye izin koşullarını belirlerken dikkate alması için referans bilgiler sunmak. Mevcut en iyi tekniklerle ilgili bilgileri sunan bu dokümanlar, çevre konusunda başarının güdülmesi için değerli araç olma görevi görmektedir.

4. Bilgi Kaynakları

Bu doküman, özellikle Komisyona işinde yardımcı olmak için kurulmuş olan ve Komisyon servislerine göre değişiklik gösteren grupların uzmanlığını da içeren bir dizi kaynaktan elde edilen bilgilerin özetini yansıtır. Bütün katkılar memnuniyetle tanınmıştır.

5. Dokümanın anlaşılması ve kullanımı

Bu dokümanda sunulan bilginin belli durumlarda MEİT'in belirlenmesinde bir girdi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. MEİT'i belirler ve MEİT temelindeki izin koşullarını ortaya koyarken, esas nokta her zaman bütün çevre için üst düzey korumanın başarılmasını genel hedef olarak almak olmalıdır.

Bu bölümün geriye kalan kısmı dokümanın her bir bölümünde sunulan bilgilerin türünü açıklamaktadır.

Bölüm 1 ve 2, ele alınan endüstriyel sektör ve bu sektör içindeki endüstriyel işlemler hakkında genel bilgi sunmaktadır. Bölüm 3, dokümanın yazıldığı süre içinde var olan tesislerdeki duruma yansıyan halihazırdaki emisyon ve tüketim seviyelerini ele alan veri ve bilgileri sunar.

Bölüm 4, emisyon azaltımını ve MEİT'i ve MEİT temelindeki izin koşulları için en çok ilgili olduğu düşünülen diğer teknikleri daha ayrıntılı bir şekilde açıklar. Bu bilgi, bu teknik kullanılarak elde edilebileceği düşünülen tüketim ve emisyon seviyelerini, tekniğe eşlik eden maliyetler ve ortamlar arası etkileşim hususlarında bir takım fikirleri, tekniğin uygulanabildiği EKÖK izinleri gerektiren bir dizi tesisin kapsamı, yani yeni, var olan büyük ya da küçük tesislere uygulanması gibi durumları içerir. Genel olarak eskimiş olarak görülen tekniklere yer verilmedi.

Bölüm 5, genel anlamda MEİT ile uyumlu olduğu düşünülen emisyon ve tüketim seviyelerini sunar. Buradaki amaç, MEİT temelinde izin koşullarını belirlerken yardımcı olması için ya da Madde 9(8) altında bağlayıcı kurallar oluşturmak için uygun referans noktası gibi görülebilecek emisyon ve tüketim seviyeleriyle ilgili genel göstergeler sunmaktır. Bununla birlikte, bu dokümanın emisyon sınırı değerlerini ileri sürmediği belirtilmelidir. Uygun izin koşullarının belirlenmesi, düşünülen tesisin teknik özellikleri, coğrafi konumu ve yerel çevresel koşulları gibi yerel, üretim bölgesine özel faktörlerin dikkate alınmasını içerecektir. Var olan tesislerin durumunda, bu tesislerin yenilenmesinin ekonomik ve teknik uygunluğu da dikkate alınmalıdır. Sadece genel olarak çevre için üst seviyede korumanın sağlanması amacıyla bile sıklıkla farklı türde çevresel etkiler arasında feragatte bulunulan kararları içerecektir ve bu kararlar genellikle yerel faktörlerden etkilenecektir.

Bu konuların bazılarını burada değinilmeye çalışıldıysa da hepsinin bu dokümanda tam olarak ele alınması mümkün değildir. Bu nedenle, Bölüm 5'te sunulan teknikler ve seviyeler mutlaka bütün tesisler için uygun olmayacaktır. Diğer yandan, uzun mesafelerin ya da sınır ötesi kirlenmenin en aza indirilmesi de içine alan üst düzeyde çevre korumasını sağlama yükümlülüğü, izin koşullarının tamamen yerel faktörler üzerinden belirlenemeyeceğini ifade etmektedir. Bu nedenle, bu dokümanda yer alan bilgiler izin veren otoriteler tarafından bütünüyle dikkate alınması açısından azami öneme sahiptir.

Mevcut en iyi teknikler zamanla değişim gösterdiğinden doküman gözden geçirilecek ve uygun görüldüğünde güncellenecektir. Bütün görüş ve yorumlar aşağıda adresi verilen, İleri Teknolojik Çalışmalar Enstitüsündeki (Institute for Prospective Technological Studies) Avrupa EKÖK Bürosu'na (European IPPC Bureau) yapılabilir.

Edificio Expo-WTC, Inca Garcilaso s/n, E-41092 Seville, İspanya
Telefon: +34 95 4488 284
Fax: +34 95 4488 426
e-mail: eippcb@jrc.es
Internet: <http://eippcb.jrc.es>

Cam Sanayindeki Mevcut En İyi Teknikler Konusunda Referans Doküman

GENİŞ ÖZET	I
------------------	---

ÖNSÖZ.....	XXI
------------	-----

1. GENEL BİLGİ.....	1
---------------------	---

1.1. Dokümanın Kapsamı	1
1.2. Giriş	2
1.2.1. Camın özellikleri	4
1.2.2. Cam türlerinin geniş sınıflandırması	5
1.2.3. Tarihi kökler.....	6
1.3. Cam kaplar	7
1.3.1. Sektöre genel bakış.....	7
1.3.2. Ürünler ve pazarlar	8
1.3.3. Ticari ve finansal faktörler	9
1.3.4. Temel çevresel hususlar.....	10
1.4. Düz cam.....	10
1.4.1. Sektöre genel bakış.....	10
1.4.2. Ürünler ve pazarlar	12
1.4.3. Ticari ve finansal faktörler	12
1.4.4. Temel çevresel hususlar.....	13
1.5. Sürekli filament cam elyaf	14
1.5.1. Sektöre genel bakış.....	14
1.5.2. Ürünler ve pazarlar	15
1.5.3. Ticari ve finansal faktörler	15
1.5.4. Temel çevresel hususlar.....	15
1.6. Eysel cam	16
1.6.1. Sektöre genel bakış.....	16
1.6.2. Ürünler ve pazarlar	17
1.6.3. Ticari ve finansal faktörler	18
1.6.4. Temel çevresel hususlar.....	18
1.7. Özel cam.....	19
1.7.1. Sektöre genel bakış.....	19
1.7.2. Ürünler ve pazarlar	19
1.7.3. Ticari ve finansal faktörler	21
1.7.4. Temel çevresel hususlar.....	22
1.8. Maden yünü	22
1.8.1. Sektöre genel bakış.....	22
1.8.2. Ürünler ve pazarlar	23
1.8.3. Ticari ve finansal faktörler	24
1.8.4. Temel çevresel hususlar.....	25
1.9. Seramik elyaf	25
1.9.1. Sektöre genel bakış.....	25
1.9.2. Ürünler ve pazarlar	26
1.9.3. Ticari ve finansal faktörler	26
1.9.4. Temel çevresel hususlar.....	27
1.10. Cam hamurları.....	27
1.10.1. Sektöre genel bakış	27
1.10.2. Ürünler ve pazarlar	28
1.10.3. Ticari ve finansal faktörler.....	28
1.10.4. Temel çevresel hususlar.....	28

2. UYGULANAN İŞLEMLER VE TEKNİKLER.....	31
---	----

2.1. Materyallerin Dağıtılması	31
2.2. Cam Eritme.....	32
2.2.1. Cam Eritme İçin Hammaddeler.....	32
2.2.2. Eritme İşlemi	34
2.3. Eritme Teknikleri	36
2.3.1. Rejeneratif Fırımlar.....	37

2.3.2. Reküperatif Fırımlar	39
2.3.3. Oksi Yakıtlı Eritme	40
2.3.4. Elektrikli Eritme	40
2.3.5. Fosil Yakıt ve Elektrik Bir Arada Eritilir	41
2.3.6. Aralıklı Harman Eritme	42
2.3.7. Özel Eritici Tasarımları	42
2.4. Cam kap	43
2.5. Düz Cam.....	46
2.5.1. Düz Cam İşlemi	46
2.5.2. Haddelme İşlemi (Desenli ve Telli Cam).....	48
2.6. Sürekli Filament Glass Fibre	49
2.7. Eysel Cam.....	51
2.8. Özel Cam	53
2.9. Maden Yünü	57
2.9.1. Cam Yünü.....	57
2.9.2. Taş Yünü.....	59
2.10. Seramik Elyaf	61
2.11. Cam Hamurları	62

3. MEVCUT TÜKETİM VE EMİSYON SEVİYELERİ 65

3.1. Giriş	65
3.2. Genel Olarak Cam Sanayisine Bakış	66
3.2.1. Üretim Girdileri.....	66
3.2.2. Üretim Çıktıları	68
3.2.2.1. Havaya Salınan Emisyonlar.....	69
3.2.2.2. Suya Salınan Emisyonlar	71
3.2.2.3. Diğer Atıkların Emisyonları.....	71
3.2.3. Enerji	72
3.3. Cam kaplar	76
3.3.1. Üretim Girdileri.....	77
3.3.2. Havaya Salınan Emisyonlar.....	78
3.3.2.1. Hammaddeler.....	78
3.3.2.2. Eritme.....	78
3.3.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar.....	80
3.3.3. Suya Salınan Emisyonlar	80
3.3.4. Diğer Atıklar	81
3.3.5. Enerji	81
3.4. Düz Cam.....	82
3.4.1. Üretim Girdileri.....	82
3.4.2. Havaya Salınan Emisyonlar.....	84
3.4.2.1. Hammaddeler.....	84
3.4.2.2. Eritme.....	84
3.4.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar.....	85
3.4.3. Suya Salınan Emisyonlar	85
3.4.4. Diğer Atıklar	85
3.4.5. Enerji	86
3.5. Sürekli Filament Cam Elyaf	86
3.5.1. Üretim Girdileri.....	87
3.5.2. Havaya Salınan Emisyonlar.....	89
3.5.2.1. Hammaddeler.....	89
3.5.2.2. Eritme.....	89
3.5.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar.....	90
3.5.3. Suya Salınan Emisyonlar	90
3.5.4. Diğer Atıklar	91
3.5.5. Enerji	91
3.6. Eysel Camlar	92
3.6.1. Üretim Girdileri.....	93
3.6.2. Havaya Salınan Emisyonlar.....	95
3.6.2.1. Hammaddeler.....	95
3.6.2.2. Eritme.....	95
3.6.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar.....	96
3.6.3. Suya Salınan Emisyonlar	96

3.6.4. Diğer Atıklar.....	97
3.6.5. Enerji.....	97
3.7. Özel Cam	98
3.7.1. Üretim Girdileri	98
3.7.2. Havaya Salınan Emisyonlar	101
3.7.2.1. Hammaddeler.....	101
3.7.2.2. Eritme.....	101
3.7.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar	102
3.7.3. Suyu Salınan Emisyonlar	102
3.7.4. Diğer Atıklar.....	102
3.7.5. Enerji.....	102
3.8. Maden Yünü.....	103
3.8.1. Üretim Girdileri	103
3.8.2. Havaya Salınan Emisyonlar	104
3.8.2.1. Hammaddeler.....	105
3.8.2.2. Eritme.....	105
3.8.2.3. Eritme dışı çalışmalardan çıkan emisyonlar	107
3.8.3. Suyu Salınan Emisyonlar	108
3.8.4. Diğer Atıklar.....	108
3.8.5. Enerji.....	109
3.9. Seramik Elyaf	110
3.9.1. Üretim Girdileri	110
3.9.2. Havaya Salınan Emisyonlar	111
3.9.2.1. Hammaddeler.....	111
3.9.2.2. Eritme.....	111
3.9.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar	111
3.9.3. Suyu Salınan Emisyonlar	111
3.9.4. Diğer Atıklar.....	111
3.9.5. Enerji.....	112
3.10. Cam Hamurları	112
3.10.1. Üretim Girdileri	112
3.10.2. Havaya Salınan Emisyonlar	113
3.10.2.1. Hammaddeler.....	113
3.10.2.2. Eritme.....	113
3.10.2.3. Üretimi Takip Eden Çalışmalar	114
3.10.3. Suyu Salınan Emisyonlar	114
3.10.4. Diğer Atıklar.....	114
3.10.5. Enerji.....	114

4. MEİT BELİRLENİRKEN DÜŞÜNÜLMESİ GEREKEN TEKNİKLER 117

4.1. Giriş	117
4.2. Eritme Teknikleri Kısmı.....	119
4.2.1. Elektrikli Eritme	121
4.3. Materyal Dağıtımı İçin Teknikler.....	124
4.4. Eritme Çalışmalarında Havaya Salınan Emisyonların Kontrolü İçin Teknikler	125
4.4.1. Partiküllü Madde.....	125
4.4.1.1. Ana Teknikler	127
4.4.1.2. Elektrostatik Çökelticiler	132
4.4.1.3. Torba Filtreler	136
4.4.1.4. Mekanik Toplayıcılar	139
4.4.1.5. Yüksek Sıcaklıkta Filtre Alanı	140
4.4.1.6. Sıcak Temizleyiciler.....	140
4.4.1.7. Alt Bölüm 4.4.1'deki Teknik Unsurlarının Özeti	141
4.4.2. Azot Oksitler (NOx).....	143
4.4.2.1. Yanma Ayarları.....	143
4.4.2.2. Harman Formülasyonu	147
4.4.2.3. Özel Fırın Tasarımları	148
4.4.2.4. FENIX işlemi.....	150
4.4.2.5. Oksi Yakıtlı Eritme	151
4.4.2.6. Yakıt ile Kimyasal Azaltım (CRF)	159
4.4.2.7. Seçici Katalitik Azaltım (SCR)	164
4.4.2.8. Seçici Katalitik Olmayan Azaltım (SNCR).....	169

4.4.2.9. NO _x Azaltma Teknik Maliyetlerini Karşılaştırma	171
4.4.3. Sülfür Oksitler (SO _x).....	174
4.4.3.1. Yakıt Seçimi	175
4.4.3.2. Harman Formülasyonu	176
4.4.3.3. Kuru ya da Yarı Kuru Temizleme	177
4.4.4. Floridler (HF) ve Kloridler (HCl)	184
4.4.4.1. Kaynak Azaltma.....	184
4.4.4.2. Temizleme Teknikleri	186
4.4.5. Karbon Oksitleri	186
4.5. Eritme Dışındaki Çalışmalardan Havaya Salınan Emisyonların Kontrolü İçin Teknikler	187
4.5.1. Cam kaplar.....	187
4.5.2. Düz Cam.....	188
4.5.3. Sürekli Filament Cam Elyaf	189
4.5.4. Eysel Cam.....	190
4.5.5. Özel Cam	190
4.5.6. Maden Yünü.....	190
4.5.6.1. Şekil Verme Alanı	191
4.5.6.2. Sertleştirme Ocağı	200
4.5.6.3. Ürün Soğutma.....	204
4.5.6.4. Ürün Seçme ve Paketleme	204
4.5.6.5. Maden Yünü Üretiminden Çıkan Kokular	205
4.5.7. Seramik Elyaf.....	207
4.5.8. Cam Hamurları.....	208
4.6. Suya Salınan Emisyonların Kontrolü İçin Teknikler	208
4.7. Diğer Atıkların En Aza İndirilmesi İçin Teknikler	211
4.8. Enerji.....	212
4.8.1. Eritme Teknikleri ve Fırın Tasarımı	213
4.8.2. Yanma Kontrolü ve Fırın Tercihi.....	215
4.8.3. Kırık Camların Kullanımı	215
4.8.4. Sıcak Atık Kazanı	217
4.8.5. Harman ve Kırık Camları Ön Isıtma	217

5. MEİT ÇIKARSAMALARI220

5.1. Giriş	220
5.2. Genel	221
5.2.1. Materyal Saklama ve Dağıtım	223
5.2.2. Partiküllü Madde.....	223
5.2.3. Sülfür Oksitler.....	224
5.2.4. Diğer Parçacıklar	224
5.3. Cam kaplar.....	225
5.3.1. Toz	225
5.3.2. Azot Oksitleri	225
5.3.3. Sülfür Oksitleri.....	225
5.3.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar.....	226
5.3.5. Takip Eden Diğer İşlemler.....	226
5.4. Düz Cam.....	227
5.4.1. Toz	227
5.4.2. Azot Oksitleri	227
5.4.3. Sülfür Oksitler.....	227
5.4.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar.....	228
5.4.5. Takip Eden Diğer İşlemler.....	228
5.5. Sürekli Filament Cam Elyaf	228
5.5.1. Toz	228
5.5.2. Azot Oksitleri	229
5.5.3. Sülfür Oksitler.....	229
5.5.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar.....	230
5.5.5. Takip Eden Diğer İşlemler.....	230
5.6. Eysel Cam.....	230
5.6.1. Toz	230
5.6.2. Azot Oksitleri	231
5.6.3. Sülfür Oksitler.....	232
5.6.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar.....	232

5.6.5. Takip Eden Diğer İşlemler	232
5.7. Özel Cam	233
5.7.1. Toz	233
5.7.2. Azot Oksitleri	233
5.7.3. Sülfür Oksitler	234
5.7.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar	234
5.7.5. Takip Eden Diğer İşlemler.....	234
5.8. Maden Yünü	235
5.8.1. Toz	235
5.8.2. Azot Oksitleri	235
5.8.3. Sülfür Oksitler	235
5.8.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar	236
5.8.5. Takip Eden Diğer İşlemler.....	237
5.9. Seramik Elyaf	238
5.9.1. Eritme.....	238
5.9.2. Takip Eden Diğer İşlemler.....	238
5.10. Cam Hamurlar	239
5.10.1. Toz	239
5.10.2. Azot Oksitleri.....	239
5.10.3. Sülfür Oksitler.....	239
5.10.4. Eritme işleminden çıkan diğer emisyonlar	239
5.10.5. Takip Eden Diğer İşlemler.....	240
5.11. Suyu Salınan Emisyonlar	240
5.12. Diğer Atıklar.....	241
6. VAR OLAN TEKNİKLER.....	243
6.1. Düşük NOx Yanmalı Sistemler.....	243
6.2. Oksi Yakıtlı Eritme	244
6.3. Cam Kırığı ve Harman Ön Isıtma	244
6.4. Harman Formülasyonları	244
6.5. Entegre Cam Hamuru İşlemleri	245
6.6. Düz Cam Sirkülasyonu	245
6.7. Glasulin Araştırma Programı	245
6.8. Yeni Eritici Tasarımları	246
6.8.1. Seg-Eritici.....	246
6.8.2. Gelişmiş Cam Eritme	246
6.8.3. Plazma Eritici	246
7. SONUÇ AÇIKLAMALARI.....	248
7.1. Bilgi Değişimi	248
7.2. Genel Çıkarışmalar.....	248
7.3. Sonra Gelecek Çalışmalar İçin Tavsiyeler	249
8. EK I: ÖRNEK TESİS EMİSYON VERİSİ.....	251
8.1. Cam kap Sektörü.....	251
8.2. Düz Cam Sektörü.....	252
8.3. Sürekli Filament Cam Elyaf Sektörü.....	253
8.4. Evsel Cam Sektörü.....	254
8.5. Özel Cam Sektörü.....	255
8.6. Maden Yünü Sektörü	256
9. EK II: CAM SANAYİ FIRINLARI İÇİN ÖRNEK SÜLFÜR DENGELERİ.....	259
10. EK III: EMİSYON İZLEME.....	261
10.1. Esas Kirleticiler	261
10.2. Emisyonları İzleme	262
11. EK IV: ULUSLARARASI YASALAR	269
SÖZLÜK.....	283
REFERANSLAR	285

Tablolar Listesi

Tablo 1.1: Cam sanatındaki üretim dökümüne dayana yaklaşık sektör	3
Tablo 1.2: AB’de önemli cam kap üreticileri (1997).....	7
Tablo 1.3: Üye devletlerde cam kap fabrikalarının dağılımı.....	8
Tablo 1.4: Belirtilen aralıklarda cam kap fabrikalarının sayısı	8
Tablo 1.5: 1997’de AB içindeki yüzdürme tanklarının bölgeleri	11
Tablo 1.6: 1997’de üye devletlerdeki yüzdürme tanklarının sayısı	11
Tablo 1.7: Belirtilen aralıklarda yüzde olarak yüzdürme kapasitesi	11
Tablo 1.8: Üye devletlerde sürekli filament kurulumlarının ve fırınlarının sayısı	14
Tablo 1.9: Belirtilen aralıklarda sürekli filament fırınlarının sayısı	14
Tablo 1.10: 1997’de üye devletlerdeki evsel cam tesislerinin sayısı ve dağılımı	17
Tablo 1.11: Belirtilen üretim aralıklarında bulunan evsel cam tesislerinin sayısı (tahmini).....	17
Tablo 1.12: Özel cam sektörü dökümü	20
Tablo 1.13: AB’deki özel cam üretiminin dağılımı	21
Tablo 1.14: Özel cam tesisleri için yatırım maliyetleri	22
Tablo 1.15: Üye devletlerdeki maden yünü tesislerinin sayısı	23
Tablo 1.16: Tablo 1.16: Belirtilen üretim aralıklarında maden yünü tesislerinin sayısı.....	23
Tablo 1.17: Üye devletlerde seramik elyaf tesislerinin dağılımı	26
Tablo 1.18: Üye devletlerdeki cam hamuru tesislerinin dağılımı (tahmini).....	27
Tablo 1.19: Belirtilen üretim aralıklarında cam hamuru tesislerin sayısı (tahmini)	27
Tablo 2.1: Cam yapılan önemli ham maddeler	32
Tablo 2.2: Renk vermede kullanılan elementler	33
Tablo 2.3: 1997’de AB fırın türlerinin tahmini [tm18 CPIV]	36
Tablo 2.4: Tipik cam kap bileşimi.....	43
Tablo 2.5: Tipik düz cam bileşimi.....	46
Tablo 2.6: Tipik E cam bileşimi	49
Tablo 2.7: Özel cam sektörünün ana ürünlerin kimyasal birleşimi	56
Tablo 2.8: Tipik maden yünü kompozisyonları	57
Tablo 2.9: Ağırlık yüzdesine göre tipik ısıya dayanıklı seramik elyafın kimyasal kompozisyonu	61
Tablo 3.1: Cam Endüstrisinde kullanılan yaygın ham maddeler [tm18 CPIV]	68
Tablo 3.2: Eritme faaliyetlerinden kaynaklanan atmosfer emisyonlarının özeti	70
Tablo 3.3: Cam süreçlerinden kaynaklı potansiyel ağır metal emisyonları.....	71
Tablo 3.4: Yaygın cam formülasyonlarının eritilmesine yönelik teorik enerji gereksinimleri	73
Tablo 3.5: Bir dizi cam fırınına yönelik spesifik enerji tüketim örnekleri	75
Tablo 3.6: Konteynır Cam Sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış [tm18 CPIV]	76
Tablo 3.7: Konteynır Cam Sektöründe kullanılan Materyaller (CPIV Jan 98)	77
Tablo 3.8: Birincil ve ikincil azaltım tedbirleri ile Konteynır Cam Sektörü fırınlarına yönelik olarak bildirilen toplam emisyon ranjları.	79
Tablo 3.9: Birincil ve ikincil azaltım tedbirleri ile Konteynır Cam Sektörü fırınlarına yönelik orta yüzde 80 emisyon ranjları	80
Tablo 3.10: Düz Cam Sektöründe kullanılan Materyaller	83
Tablo 3.11: Azaltmalı ve azaltmasız düz cam fırınlarından alınan emisyon seviyeleri	84
Tablo 3.12: Sürekli Filament Cam Elyaf Sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış [tm18 CPIV]	87
Tablo 3.13: Sürekli Filament Cam Elyaf Sektöründe kullanılan materyaller.....	88
Tablo 3.14: Sürekli filament cam elyaf fırınlarından alınan emisyon seviyeleri	89
Tablo 3.15: Evsel Cam Sektörü girdi ve çıktılarının genel görünümü.....	93
Tablo 3.16: Evsel Cam Sektöründe kullanılan Materyaller	94
Tablo 3.17: Evsel cam fırınlarından kaynaklı hava emisyonları özeti	96
Tablo 3.18: Özel Cam Sektöründe kullanılan Materyaller	99
Tablo 3.19: Örnek bir su bardağı sürecine yönelik girdi ve çıktılara genel bakış [tm28 EMPA]	99
Tablo 3.20: Örnek TV huni camı sürecine ilişkin girdi ve çıktılara genel bakış	100
Tablo 3.21: Örnek TV panel camı sürecine yönelik girdi ve çıktıların genel görünümü (NOx azaltımına yönelik SCR donatımlı).....	100
Tablo 3.22: Amyant Sektöründe kullanılan materyaller.....	103
Tablo 3.23: Amyant süreci egzoz gazı hacimleri	105
Tablo 3.24: Amyant eritme faaliyetlerinden kaynaklı tam ranj emisyonlar	106
Tablo 3.25: Amyant eritme faaliyetlerinden kaynaklı orta % 80 emisyonlar	106
Tablo 3.26: mg/m olarak tam ranj amyant hat emisyonları	107
Tablo 3.27: Amyant hat emisyonlarının orta % 80 ranjı	108
Tablo 3.28: Amyant Sektörü katı atık üretim ve tahliyesi	109

Tablo 3.29: Amyant üretiminde enerji kullanımı	109
Tablo 3.30: Seramik Elyaf Sektöründe kullanılan materyaller	110
Tablo 3.31: Frit üretiminde kullanılan ana ham maddeler	113
Tablo 3.32: Frit fırınlarından kaynaklı emisyon düzeyleri	114
Tablo 4.1: Elektrikle eritmenin temel fayda ve zararları	124
Tablo 4.2: Toz azaltımına yönelik birincil tekniklerin ana fayda ve zararları	132
Tablo 4.3: Asit gaz yıkamalı elektrostatik çöktürücülerin maliyetleri [tm32 Beerkens]	134
Tablo 4.4: Elektrostatik çöktürücülerin ana fayda ve zararları	136
Tablo 4.5: Bez filtrelerin ana fayda ve zararları	139
Tablo 4.6: Siklonların ana fayda ve zararları	140
Tablo 4.7: Yakma modifikasyonlarının temel fayda ve zararları	147
Tablo 4.8: Oksi-yakıt eritme işleminin ana fayda ve zararları	158
Tablo 4.9: 3R Sürecinin ana fayda ve zararları	161
Tablo 4.10: Elektrostatik çöktürücü ve asit gaz yıkamalı SCR maliyeti	166
Tablo 4.11: SCR'nin temel fayda ve zararları	168
Tablo 4.12: SNCR maliyetleri	170
Tablo 4.13: SNCR'nin ana fayda ve zararları	171
Tablo 4.14: Azaltım tekniklerine yönelik sermaye maliyetleri	173
Tablo 4.15: Azaltım tekniklerine yönelik yıllık işletim maliyetleri	173
Tablo 4.16: Euro/ton cam olarak azaltım tekniklerine yönelik spesifik maliyetler	174
Tablo 4.17: İki oksijen fiyatına yönelik oksi-yakıt eritme maliyetleri (euro/ton cam) [tm32 Beerkens]	174
Tablo 4.18: Farklı yakıtlara yönelik cam fırını atık gazındaki indikatif SOx emisyonları	175
Tablo 4.19: AB enerji fiyatlarındaki değişimler –kaynak (CPIV)	176
Tablo 4.20: Ca(OH) ₂ 'ye yönelik kuru emilim verimlilikleri (ipucu niteliğindeki rakamlar)	178
Tablo 4.21: Ca(OH) ₂ 'li kuru gaz yıkamaya ilişkin SOx azaltım oranları	178
Tablo 4.22: Na ₂ CO ₃ 'lü kuru gaz yıkamaya yönelik SOx azaltım oranları	179
Tablo 4.23: Na ₂ CO ₃ çözeltili yarı kuru gaz yıkamaya yönelik SOx azaltım oranları	179
Tablo 4.24: Ca(OH) ₂ 'li yarı kuru gaz yıkamaya yönelik SOx azaltım oranları	179
Tablo 4.25: Kuru ve yarı kuru gaz yıkamanın ana fayda ve zararları	184
Tablo 4.26: Islak Elektrostatik Çökelticilerin önemli avantaj ve dezavantajları	198
Tablo 4.27: Taş yünü filtrelerinin belli başlı avantaj ve dezavantajları	200
Tablo 4.28: Yakma İşleminin Belli Başlı Avantaj ve Dezavantajları	204
Tablo 4.29: Havaya Yönelik hat emisyonlarında genel olarak erişilebilir seviyeler (mg/Nm ³)	206
Tablo 4.30: Azaltma tekniklerinin yatırım ve işletme maliyetleri	207
Tablo 4.31: Cam Endüstrisinde kullanılabilecek olası atık su arıtma tekniklerinin listesi	210
Tablo 5.1: Mg/m ³ 'ten kg/ton'lık eritilmiş cam için verilen gösterici dönüşüm ögeleri (1)	223
Tablo 5.2: Metaller ve bileşenlerinin sınıflandırmaları	224
Tablo 10.1: Cam Sanayinde ölçümü göz önünde bulundurulması gereken başlıca kirletenler	261
Tablo 10.2: Kesintisiz İzleme Teknikleri	265
Tablo 10.3: Kesintisiz izleme için kütle akışları (Fransa ve Almanya)	265
Tablo 10.4: Kesintisiz izleme teknikleri	266

Şekillerin Listesi

Şekil 1.1: 1986 ile 1996 yılları arasındaki toplam cam üretimi (cam hamurları ve seramik elyaflar hariç)	3
Şekil 2.1: Bir çapraz- ateşlemeli yenileyici fırın.....	38
Şekil 2.2: Yenileyici fırın çapraz bölümü	38
Şekil 2.3: Tek geçişli son ateşlemeli fırın.....	39
Şekil 2.4: Son ateşlemeli rejeneratif fırınların plan görünümü.....	39
Şekil 2.5: Bas ve üfle şekillendirme ve üfle ve üfle şekillendirme işlemleri.....	44
Şekil 2.6: Float Cam İşlemi	47
Şekil 2.7: Yuvarlak Cam İşlemi.....	48
Şekil 2.8: Cam parçaların oluşumu için presleme işlemi.....	52
Şekil 2.9: Camın farklı kısımlarının şekillendirilmesi için eğirme prosesi.....	52
Şekil 2.10: Tipik bir cam yünü tesisi	57
Şekil 2.11: Tipik bir maden yünü işleme su devresi	59
Şekil 2.12: Tipik bir taş yünü tesisi	59
Şekil 3.1: Tipik bir konteynır cam tesisinde enerji kullanımı	82
Şekil 3.2: Tipik bir yüzdürme cam sürecine yönelik enerji kullanımı	86
Şekil 3.3: Tipik bir sürekli filament cam elyaf sürecindeki enerji kullanımı	92
Şekil 3.4: Kurşun kristal imalatında enerji kullanımı (kap fırın).....	98
Şekil 4.1: Yeniden Yakma Sürecinin Genel Görünümü.....	162

GENEL BİLGİ

1.1 Dokümanın Kapsamı

Bu doküman, 96/6 sayılı Direktif'in Ek 1'indeki 3.3 ve 3.4 sayılı alt bölümlerinde belirtilen endüstriyel faaliyetleri kapsar; bu bölümler:

- 3.3 Eritme kapasitesi günde 20 tonu aşan cam elyaf kolunu da içine alan cam üretim tesisleri
- 3.4 Eritme kapasitesi günde 20 tonu aşan mineral lif üretimini içine alan mineral parçacıkları eritme tesisleri.

Kategorilere ayrılan faaliyet türleri büyük ölçüde çapa, kullanılan tekniklere ve eşlik eden çevresel hususlara göre farklılık gösterir. Bir kurulumun Ek 1'deki tanımlamalar içinde yer alıp almadığına karar verirken, kurulumdaki her bir eritme faaliyetinin toplu kapasitesi göz önünde bulundurulur. Bu dokümanın amaçları için günde 20 ton eritme kapasitesi kriteri üretilen eriyiğin kütlesi ile ilgili alındı. Bu yaklaşım, Direktif'teki tanımın yorumlamasının önyargısında bulunmayı amaçlamaz; bundan ziyade, verilen bilginin Cam Sanayinde kullanılan standart terminoloji ile uyumlu olmasını sağlamayı amaçlar.

Bu dokümanın amaçları için, 96/6 1/EC sayılı Direktif'in Ek 1'deki 3.3 ve 3.4 alt bölümlerindeki tanımlamaya denk düşen endüstriyel faaliyetler, sekiz sektörden oluştuğu düşünülen Cam Sanayi olarak gösterilecektir. Bu sektörler üretilen ürünlere dayanır; ancak, birbirleri arasında kaçınılmaz bir şekilde çakışmalar olur. Bu sekiz sektör:

1. Cam kap
2. Düz Cam
3. Sürekli Filament Cam Elyaf
4. Ev camı
5. Özel Cam (su camı dahil)
6. Maden Yünü (cam yünü ve taş yünü olmak üzere iki alt sektörü ile birlikte)
7. Seramik Elyafi
8. Cam hamurları

Temel üretim faaliyetlerine ek olarak, bu doküman emisyonlar ya da kirlenme üzerinde etkisi olabilecek direkt olarak ilgili faaliyetleri içerir. Bu nedenle, doküman, hammaddelerin alınmasından , orta aşamalarındaki üretime ve bitmiş ürünün nakliyesine kadar olan faaliyetleri içine alır. Bazı faaliyetlere yer verilmemiştir, çünkü ana faaliyete direkt olarak etkilerinin olduğu düşünülmemektedir. Örneğin, düz camın sonraki işlemler ile diğer ürünlere (çift cam ya da otomotiv ürünleri) dönüştürülmesine yer verilmemiştir. Bu yaklaşımın, üye devletlerin Direktif'i yorumlama ön yargısında bulunmayı amaçlamadığını tekrar belirtmek gerek. Kapsanılan faaliyetler:

- Hammaddelerin işlenmesi ve depolanması
- Karıştırma ve aktarma
- Eritme ve inceltme
- Şekil verme (yüzdürme banyosu, presleme, üfleme, lif haline getirme, cam hamuruna su verilmesi gibi)
- Soğutma (cam fırını, tavlama, sertleştirme gibi)
- Yapıştırma ve yağlama uygulamalarını da içeren giydirme
- Yüzey düzeltme (asitle parlatma gibi).
- Sertleştirme ve kurutma faaliyetleri
- Öğütme.
- Makineden geçirme, kesme ve paketleme
- Atık depolama, dağıtma ve işleme

1.2 Giriş

[tm18 CPIV, CPIV stats, EURIMA stats]

Avrupa Birliği'ndeki (AB) cam sanayi hem yapılan ürünler hem de kullanılan üretim teknikleri açısından kendi içinde büyük farklılık göstermektedir. Ürün aralığı, el yapımı alengirli kurşun kristal kadehlerden yapı ve otomotiv sanayiler için üretilmiş büyük hacimlerdeki float camlara kadar genişler. Üretim teknikleri, Seramik Elyaf Sektöründeki elektrikle ısıtılan küçük fırınlardan, Düz Cam Sektöründe günde 700 tona kadar üretim yapabilen çapraz yanmalı rejeneratif fırınlara kadar farklılık gösterir. Daha geniş bir Cam Sanayi, aynı zamanda, günde 20 ton sınırının altına düşen daha küçük birçok kuruluşu da içerir. Ancak, bu bölümde verilen istatistiki verilerin bazıları için daha küçük fabrikalardan sağlanan katkıyı ayırt etmek mümkün olmadı, ama toplam sanayi çıktısının %5'inden azını oluşturdukları için bu dikkate değer görülmedi.

Cam sanayi, rekabetçiliğini sağlamak için geliştirilmiş büyük hacimli ürünlere değer katan birçok yol olmasına rağmen, esasında bir emtia sanayisidir. Sanayi çıktısının %80'inden fazlası diğer sanayi kollarına satılır ve bütün olarak Cam Sanayi inşaat ve yiyecek ve içecek endüstrilerine fazlasıyla bağlıdır. Bununla birlikte, bu genel görünüm sanayi kolunun bütün bileşenleri için geçerli olmayıp, daha küçük hacimdeki sektörlerin bazıları yüksek değerde teknik ürünler ya da tüketici ürünleri üretebilmektedir.

Bin dokuz yüz doksanların sonlarında Cam Sanayi yeniden örgütlenme sürecini sürdürüyor. Maliyetleri azaltmak ve küresel pazarda etkili bir şekilde rekabet edebilmek için ölçek şirketlerin ekonomisinden faydalanama bilmek için şirketler birleşme yoluna gidiyor ve bağımsız faaliyette bulunan şirket sayısı azalıyor. Endüstriyi domine eden gruplar faaliyetlerinde daha fazla uluslararası hale geliyor ve ürünlerin kullanıldığı ülkeler önemli olmaksızın bütün kullanıcılar giderek daha fazla aynı türde bir kalite talep ediyor. AB Cam sanayisi teknolojik gelişim açısından ön sıralarda yer alıyor ve gelecek yıllarda arttırılan endüstriyel başarının faydasını görmesi muhtemel duruyor.

Önemli olarak bir tek Saint-Gobain istisnası dışında, önceki bölümde bahsedilen sekiz sektör içinde iki sektörden fazlasında faaliyette bulunan çok az önemli şirket bulunmaktadır. Örneğin, Owens Corning Corporation şirketi cam elyaf teknolojisi, sürekli filament cam elyaf ve cam yünü alanlarında uzmandır. PPG, düz camın ve sürekli filament cam elyafın uluslararası bir üreticisidir. Bir diğer örnek, esas olarak düz cam faaliyetlerinde uzmanlaşan Pilkington Group'tur.

Cam sanayisindeki önemli çevresel zorluklar havaya salınan emisyonlar ve enerji tüketimidir. Cam yapımı yüksek sıcaklık isteyen, enerji yoğunluklu bir faaliyettir ve bu durum, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, sülfür dioksiti, karbondioksiti ve azot oksitlerini doğurur. Fırın emisyonları, aynı zamanda, uçucu harman maddelerinin uçması ve sonra da yoğunlaşmasından çıkan tozu içerir. Cam sanayide 1997'de havaya salınan emisyonların 9000 tonunun tozdan, 103500 tonunun NOx'dan, 91500 tonunun SOx'dan ve (elektirikli oluşum da dahil olmak üzere) 22 milyon tonunun CO2'den oluştuğu hesaplandı. Bu miktar, AB emisyonlarının toplam emisyonlarının %0,7'sinin oluşturdu. Cama sanayi tarafından harcanan toplan enerji miktarı 265 PJ oldu.

Su ortamına salınan emisyonlar nispeten daha azdır ve cam sanayine özel hususlar birkaç tanedir. Bunla birlikte, bazı sektörlerde su kirlenmesi sorunları vardır ve bunlara dokümanın belli bölümlerinde yer verilmiştir. Katı atık seviyeleri de genel olarak oldukça düşüktür ve atık oluşumunu azaltmak ve evsel ve tüketim sonrası atıkların geri dönüşümü için birçok hamlede bulunulmuştur.

Genel olarak, cam yapımı için gerekli olan hammaddeler, doğal ya da insan yapımı maddeler nispeten zararsız maddeler olarak halihazırda ulaşılabilir durumdadır. Hammaddelerin sağlanmasının neden olduğu önemli çevresel sorunlar bulunmamaktadır ve atık seviyeleri çok düşüktür.

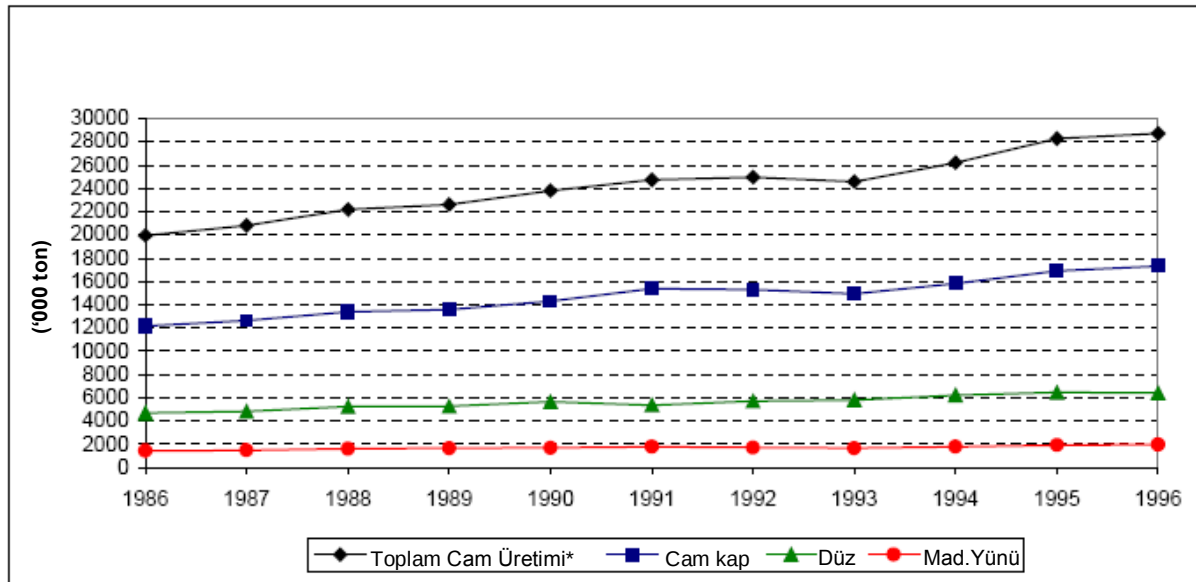
Cam sanayindeki birçok sektör, kullanım ömrü yirmi yıla kadar çıkan büyük sürekli fırınlar kullanılır. Bu fırınlar

kullanır. Bu fırınlar büyük sermaye yükümlülüğünü ifade eder ve fırınların çalışması ve periyodik olarak yeniden kurulması süreç içinde doğal bir yatırım döngüsü doğurur. Fırınların yeniden kurulması dönemine denk geliyorsa eritme teknolojisindeki önemli değişiklikler çoğu kez ekonomik anlamda uygulanır. Bu durum, doğru bir şekilde ölçülmesi gereken karışık ikincil azaltım ölçütlerini ve uygulanması gereken gaz soğutma için de geçerli olabilir. Ancak, ikincil tekniklerin kurulumu da dahil olmak üzere, fırının çalıştırılmasındaki birçok gelişme çalışma seferberliği süresince mümkün olabilir. Daha sık yeniden kurulum isteyen ve daha düşük sermaye giderleri olan küçük fırınlarda çevresel gelişmelere ve fırın onarımlarının avantajları daha az görünürdür, ancak diğer yatırımlarla eşgüdümlü olarak yapıldığında çevresel gelişmeler daha ekonomik olabilir.

1996'da AB'deki cam sanayindeki toplam üretim, (seramik elyaflar ve cam hamurları hariç olmak üzere) 29 milyon ton olarak hesaplandı. Sektörler ile gösterilen bir döküm Tablo 1.1'de verilmektedir. Geçtiğimiz on yıl içinde genel olarak satış hacminde sürekli bir büyüme oldu. Ancak, dokümanın ilerleyen kısımlarında ele alınacağı üzere her sektörde dalgalanmalar oldu. 1986 ile 1996 yılları arasında, AB toplam cam üretimindeki artış ve üç en büyük sektördeki üretim Şekil 1.1.'de özetlenmektedir.

Sektör	% olarak toplam AB üretimi (1996)
Cam kaplar	60
Düz Cam	22
Sürekli Filament Cam Elyaf	1.8
Ev camı	3.6
Özel Cam	5.8
Maden Yünü	6.8
Seramik Yün	-
Cam hamuru ve enamel cam hamuru	-

Tablo 1.1: Cam sanatındaki üretim dökümüne dayana yaklaşık sektör



Şekil 1.1: 1986 ile 1996 yılları arasındaki toplam cam üretimi (cam hamurları ve seramik elyaflar hariç)

Farklı sektörlerden çıkan ürünler birbirinden oldukça farklılık gösterir ve sektörler arasındaki bağlantı bazen çok azdır. Bununla birlikte, bu dokümanda ele alınan faaliyetlerin hepsini genel olarak birbirine bağlayan unsur eritilmiş cama ya da ürün şeklinde şekil verilecek cam benzeri maddeye şekil vermek için inorganik maddelerin eritilmesidir.

Cam sanayi sektörleri, birçok açıdan kendi doğruları olan, farklı pazarlar için her biri çok farklı ürünler üreten ve farklı zorluklar taşıyan ayrı bir endüstridir. Bu bölümün 1.3'den 1.10'a kadar olan kısmı sektörlerin her biri hakkında özet bir bakış sunar ve her birini etkileyen önemli faktörlerin genel çerçevesini sunmaya çalışır. Mümkün olan kısımlar için her bir sektör bilgi karşılaştırmalı bir şekilde sunulur. Her sektörün değişen yapıları, organizasyonu ve özellikleri bilgilerin bazen ayrıntıda ya da doğası gereği değiştiğini gösterir. Bu beklenilebilir, çünkü bazı parametrelerin görece önemi sektörden sektöre değişecektir.

1.2.1 Camın Özellikleri [tm21 Schott]

Cam terimi, uygun basit bir tanıma sahip değildir. En geniş anlamıyla cam, cam durumunda olan sınırsız sayıdaki farklı bileşimlerden oluşan maddeler için kullanılan toplu bir ifadedir. Daha açık ifade edilecek olursa, terim, katıya benzetilebilecek ama çokça ağdalı sıvı özelliklerini de taşıyan, ne kristalize yapıda ne de farklı eritme noktasında yani süper soğutulmuş sıvı yapısında olan inorganik madde yapısı ile ilişki kurmak için kullanılır. Cam sanayinde, bu terim genellikle silikat camları, yüksek miktarda silika (SiO_2) içeren maddeleri ve normal eriyik durumundan soğutma koşullarında doğal olarak camları oluşturan maddeleri ifade etmek için kullanılır.

Camlar yapısal olarak sıvılara benzer, ancak ortam sıcaklıklarında gücün etkisine karşı elastik deformasyonla karşılık verir ve dolayısıyla da katıymış gibi hareket ettikleri düşünülmelidir. Cam teriminin kullanımı genellikle inorganik maddelerle sınırlıdır ve saydam plastiklerdeki gibi organik maddeleri arasındaki bağlantı için kullanılmaz.

Silikon oksitleri, bor, germanyum, fosfor ve arsenik gibi çeşitli kimyasal maddeler camsı bir yapıyı meydana getirebilir. Eriyik durumdayken hızlı bir şekilde soğutulduklarında, camı oluşturacak şekilde kristalize olmadan katılaşır. Bu cam oluşumları, belli birleşim sınırları içinde diğer metalik bileşikler ile karıştırıldıklarında da aynı şekilde meydana gelir. Bunlara ek olarak, (kalsiyum oksitleri ve alüminyum gibi) camı değiştiren bileşikler bağlantı ilişkilerini ve yapısal gruplaşmaları, camın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde farklılıklar doğuracak şekilde değiştirir. Camsı yapı oksitler ile sınırlı değildir ve bazı sülfür ve selenyum bileşikleri hızlı bir şekilde soğutuldukları zaman da gözlenilebilir. Anormal koşullar altında cam, bazı serbest metalik alaşım oksiti ve ($90\text{ }^\circ\text{C}$ 'de değişen gliserin gibi) düşük sıcaklıklarda camsı hal alan birçok organik sıvıdan yapılabilir.

Cam, bazı bileşiklerin kristal halleri ile karşılaştırıldığında şiddete karşı dayanıklı değildir. Genelde eritilmiş bir madde soğutulduğunda kristalleşme, sıcaklık erime noktasının altına düşmesi ile başlar. Camda bu ortaya çıkmaz, çünkü moleküler yapı blokları (silikat camda SiO_4 dört yüzlüler) temassal olarak birbirine çapraz olarak bağlanır. Kristalleri meydana getirmek için bu bağlar ilk önce kristal çekirdekleri oluşturacak şekilde kırılmalıdır. Bu sadece düşük sıcaklıklarda gerçekleşebilir, ancak bu sıcaklıklarda eriyiğin akışkanlığı moleküllerin oluşmasına ve kristallerin büyümesine engel olur. Genellikle kristalize olma eğilimi (devitrifikasyon) soğutma derecesinin yükselmesi (erime noktasının altındaki kritik sıcaklık dereceleri aralığında) ile ve formülasyon içindeki farklı bileşiklerin türüne göre düşer.

Camın mekanik özellikleri daha belirgindir. Camın gerçek gerilme gücü, kimyasal bileşikler için hesaplanan enerjilerin teorik değerlerinden yüzlerce kez daha düşüktür. Gerilebilme gücü büyük ölçüde camın yüzey özelliklerine ve iç kusurların olmasına bağlıdır. Giydirme, alev parlatma ve öngerme gibi muameleler gerilme gücünü önemli ölçüde artırabilir, ancak teorik değerlerin çok altında kalmaya devam eder.

Birçok cam formülasyonu çabuk sıcaklık değişimlerine karşı da hassastır. Bunun birçok nedeni vardır, ancak prensipte düşük ısı geçirgenliği, alkalisi yüksek camların nispeten yüksek termal genleşme katsayısı ve düşük gerilme gücünden kaynaklanır. Camlar iki kategoriye ayrılır.

Bunlardan termal genleşme $6 \times 10^{-6}/K$ 'dan aşağı olanlara sert camlar, bundan yukarı olanlara da yumuşak camlar şeklinde ifade edilir.

1.2.2 Cam türlerinin geniş sınıflandırması [tm21 Schott]

Cam türünde daha yaygın olarak kullanılan sınıflandırma kimyasal bileşiklere göre yapılır ve bunda dört ana grupta sınıflandırma ortaya çıkar: soda kireç camı, kurşun kristal ve kristal cam, borosilikat cam ve özel camlar. İlk üç kategori bütün cam üretiminin %95'i olarak hesaplanır. Küçük miktarlarda üretilen binlerce özel cam formülasyonu geriye kalan %5'e karşılık gelir. Birçok istisna haricinde birçok cam, ana bileşeni silikon dioksit (SiO_2) olan silikat bazlıdır.

Taş yünü, cam türlerindeki bu sınıflandırma içinde, kimyasal bileşimi bu kategorilerden hiçbirine girmeyen istisnadır. Tipik bir taş yünü bileşimi tablo 2.8.'de sunulmaktadır.

Soda-kireç camlar

Endüstriyel anlamda üretilen camların büyük bir kısmı benzer bileşimlere sahiptir ve toplu olarak soda-kireç camları olarak isimlendirilirler. Klasik bir soda kireç camı %71-75 aralığında silikon dioksitten (esas olarak kumdan çıkarılan SiO_2), %12-16 aralığında sodyum oksitten (soda külünden Na_2O "soda"- Na_2CO_3), %10-15 aralığında kalsiyum oksitten (kireç taşından CaO gelen "kireç"- $CaCO_3$) ve cama belli özellikler vermesi için tasarlanan düşük seviyelerde diğer bileşiklerden oluşur. Bazı bileşimlerde kalsiyum dioksit ya da sodyum dioksitin bir kısmı sırası ile magnezyum oksit (MgO) ve potasyum oksit ile yer değiştirir. Daha ayrıntılı cam bileşimleri Bölüm 2'de verilmektedir.

Soda-kireç camı şişeler, kavanozlar, günlük masa üstü cam işleri ve pencere camları için kullanılır. Soda kireç camının bu kadar geniş alanda kullanılması kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu özelliklerden en önemliler içinde yer alanları soda kireç camının mükemmel ışık geçirgenliği, bu nedenle düz cam olarak kullanılması ve saydam parçalarıdır. Ayrıca, büyük ölçüde kimyasal iç yapısından gelen düz, pütürlü yüzeye sahiptir ve nedenle kolay temizlenir ve içerdiklerinin tadını etkilemez. Camın gerilme ve termal başarısı bu uygulamalar için yeterlidir ve hammaddeler daha ucuz olup eritmek açısından ekonomiktir. Daha yüksek alkali içeriğe sahip olması termal genleşme katsayısını yükseltir ve termal şok ve kimyasal etkiye karşı dayanıklılığını düşürür. Soda kireç camları, ani ve aşırı ısı değişiklikleri içeren uygulamalara genel olarak uygun değildir.

Kurşun kristal ve kristal cam

Kurşun oksit, meşhur olduğu şekliyle kurşun kristal cam özelliği vermek için harmandaki kalsiyum oksitin çoğunun yerine geçecek şekilde kullanılabilir. Bunun klasik bileşimi %54-65 SiO_2 , %25-30 PbO (kurşun oksit), %13-15 Na_2O ya da K_2O ve ayrıca diğer çeşitli bileşenler şeklindedir. %24'den fazla kurşun oksit içeren bu türde bir formülasyon, yüksek hacmi ve kırılma indisi olan ve bu nedenle de mükemmel parlaklık ve titreşimliliğe sahip, ayrıca da çok çeşitli şekil ve dekorasyonlar için işlenebilirlik sunan bir camı ortaya çıkarır. Genellikle bu türdeki ürünler yüksek kalitede bardaklar, sürahiler, kadehler ve dekoratif parçalardır. Kurşun oksit, kristal cam olarak bilinen, kurşun kristallerden daha az parlaklığı ve hacmi olan camların içindeki baryum, çinko ya da potasyum oksitler ile kısmen ya da tamamen yer değiştirebilir. Kimyasal ve fiziksel özelliklerin sunduğu kesin tanımlar 69/493/EEC Direktif'inde ortaya konulmaktadır.

Borosilikat camlar

Borosilikat camlar, bor trioksit (B_2O_3) ve yüksek oranda silikon dioksit içerir. Genellikle bileşimler %70-80 SiO_2 , % 7 - 15 B_2O_3 , % 4 - 8 Na_2O ya da K_2O , ve % 2 - 7 Al_2O_3 (alüminyum oksit) şeklindedir. Bu bileşimi içeren camlar, kimyasal çürüme ve sıcaklık değişimine (düşük termal genleşme katsayısı) karşı yüksek direnç gösterir.

Uygulamalar, kimyasal işlem bileşenlerini, laboratuvar ekipmanını, farmasötik kapları, ışıklandırmayı, pişirme setini ve fırın kapıları ve ocak ızgaralarını içerir. Borosilikat formülasyonların çoğu düşük hacimli teknik uygulamalar içindir ve bunların özel cam kategorisi içine girdiği kabul edilir.

Borosilikat camın daha ileri bir kullanımı cam elyafı üretimi ve cam yünü izolasyonudur. Kimyasal dayanıklılık ve düşük termal genleşme katsayısına ek olarak bor trioksit, cam eriyiğin lif haline getirilmesinde de önemlidir. Cam elyaf için klasik bileşimler yukarıdaki bileşimden farklılık gösterir. Örneğin, Eglass'ın bileşimi %53-60 SiO₂, %20-24 toprak alkali, %5-10 B₂O₃, % 5-10 Al₂O₃ ve altı başka küçük bileşenleri içerir. Sürekli filament cam elyaflar için yeni düşük borlu/borsuz formülasyonların daha önemli hale geldiği de belirtilmelidir.

Özel Camlar

Bu kendi içinde aşırı farklılık gösteren bir gruptur ve özelleştirilmiş az miktarları, yüksek değerde ürünleri ve ürünün gerektirdiği özelliklere bağlı olarak çok fazla değişiklik gösteren bileşimleri kapsar. Uygulamaların bazıları şunları içerir: özel borosilikat ürünler, optik camlar, elektro teknoloji ve elektronikler için camlar, katot ışını tüpleri, erimiş silika parçaları, cam yalıtımları, X-ray tüpler, cam lehimler, sinterlenmiş cam, elektrotlar ve cam seramikler. Daha fazla bilgi Bölüm 2'de verilmektedir.

1.2.3 Tarihi kökler

[tm18 CPIV, tm21 Schott]

Camsı maddeler doğal olarak ortaya çıkar. Örneğin, absidiyen volkanik bölgelerde sıklıkla bulunur ve insan yapımı cam ile karşılaştırılabilir bir bileşime sahiptir. Esas olarak silikon dioksit olmak üzere sodyum ve kalsiyum bileşiklerini içeren bu madde insanlığın ilk zamanlarında okucu, mızrak ucu ve bıçak yapımında kullanılırdı. Camın diğer doğal formları, göktaşlarının dünya yüzeyine vurması ile atmosfere yayınlan erimiş kaya parçalarının katılaşması sonucu oluşan tektitler ve güneş ışığının kum üzerine yansması ile oluşan fulguritlerdir.

Camın yapay olarak ilk ne zaman üretildiği bilinmemesine rağmen en eski bulgular MÖ 3500'lü yıllara kadar gitmektedir. Cam yapımının Mısır ve Mezopotamya'da bulunduğu düşünülmektedir, ancak daha sonraları birbirinden bağımsız bir şekilde Çin, Yunanistan ve Kuzey Tirol'da geliştirilmiştir. Eski zamanlara ait cam üretiminin, ürün olarak keşfedildikleri alan seramik ya da bronz yapımı ile bağlantılı olduğuna inanılıyor. İlk kullanımı mücevher ve küçük kaplar şeklindeydi. Üretim, kum ve kil çekirdek ile dökme cam şeklinde daha büyükçe ve faydalı parçaların (kaseler, kaplar ve kupalar) yapıldığı MÖ 1500'lerde önemli ölçüde artmaya başladı. Cam yapımındaki ilk önemli teknolojik devrim MS ilk yüzyılda Filistin ya da Suriye'de cam üfleme borusunun bulunmasıyla oldu. Bu teknik, zanaatkarın içi boş bir gövde oluşturmak için üflediği borunun ucuna eritilmiş camın alınmasını içeriyordu. Bu teknik çok çeşitli şekillerin yapılabilmesini sağladı ve tüm Batı'ya –mesela İtalya ve Fransa- yayıldı.

Avrupa'da cam üretimi Orta Çağ'da daha çok geliştirildi ve Venedik Avrupa cam sanatının merkezi oldu. 14. yüzyılda bütün kıtada cam çalışma atölyeleri kuruldu ve aynı süre içinde Fransa'da pencere camı için düz cam üretimi geliştirildi. Yüzyıllar boyunca pencere camı cam üfleme borusu ile büyük bir silindir içine üflendi, sonra kesildi ve sıcakken düz olması için ütülendi. XIV. Louis zamanı olan 1688'de düz döküm işleminin bulunmasından sonra büyük yüzeyli aynalar yaratılabildi. Aynı dönemde İngiliz cam üreticileri, çok parlak olması ve tamamen yuvarlak olması ile kar getiren kurşun kristalini geliştirdi.

18. yüzyılda bazı fabrikalar el yapımı ağızla üfleme teknikleri ile yılda 1 milyondan fazla bardağı (günde yaklaşık 3 ton) zaten ürettiyordu. 19. yüzyılda sanayi devrimi sürecinde teknik gelişim hızlandı: fırınlar odun yerine kömürle ısıtılıyordu, ilk otomatik makineler kullanılıyordu ve üfleme metalik kalıpların içinde sıkıştırılmış havayla yapılıyordu. 19. yüzyılın sonunda, Friedrich Siemens tarafından, sürekli büyük çapta üretime ve makine kullanımına izin veren, sürekli çalışan fırınlar icat edildi.

20. yüzyılda iki önemli adım atıldı: 1920'lerde ilk otomatik IS (özel kısım) makinesinin piyasaya sürülmesi ile şişe üretiminin tamamen makineleşmesi ve 1962'de düz cam için yüzdürme işleminin bulunması. Bugün IS makinesinin üretimi dakikada 500 şişenin üzerine çıkabiliyor ve yüzdürmenin üretimi günde 900 tona varabiliyor.

1.3 Cam kaplar

1.3.1 Sektöre Genel Bakış [tm18 CPIV, CPIV stats]

Cam kapların üretimi AB cam sanayisinin toplam üretiminin %60'ına denk gelen en büyük sektördür. Bu sektördeki bazı makineler masa takımı parçalarını da üretebiliyor olda da sektör, şişe ve kavanozlar gibi cam paketlemeleri içerir. 1997'de AB'de çalışan 295 fırınla 17.3 milyon tondan fazla cam ürün üretildi. 140 tesisi olan yaklaşık 70 şirket var ve sektör direkt olarak 50000 kişinin istihdamını sağlıyor. Cam kaplar, Lüksemburg dışında bütün üye devletlerde üretilmektedir ve 1997'deki çıktı düzeyi, 6 milyar avro kadar yüksek satışlarla yıllık olarak ortalama %1.8'e (Şekil 1.1'e bakın) kadar yükselmiştir.

AB çıktısının %50'sinden fazlası, aşağıdaki tabloda görülen on en büyük üreticiden elde edilmektedir. Şirketler, büyüklüklerine göre değil bölgelerine göre gruplandırılmıştır. Bu doküman yazılırken AB'deki en büyük cam kap üretici Fransız Grup Saint-Gobain ve sonrakiler de sırasıyla Danone, Gerresheimer ve AVIR'dı. Cam kapların en büyük üreticisi Batı Avrupa, sonra da ABD ve Japonya'dır. Coğrafik dağılım ve tesis büyüklüklerinin hangi aralıkta olduğu Tablo 1.3 ve Tablo 1.4'te gösterilmektedir.

Şirket	Ülke	Mülkiyet
B S N	Fransa	Danone Group (Fransa)
Saint Gobain Emballage	Fransa	Saint Gobain (Fransa)
Gerresheimer Glas	Almanya	VIAG (Almanya)
Oberland Glas	Almanya	Saint Gobain (Fransa)
AVIR	İtalya	Owens Illinois (ABD)
Vetriere Italiana VETR.I	İtalya	Saint Gobain (Fransa)
Vereenigde Glasfabrieken	Hollanda	Danone Group (Fransa)
Vicasa	İspanya	Saint Gobain (Fransa)
Rockware Glass	Büyük Krallık	Owens Illinois (ABD)
United Glass	Büyük Krallık	Owens Illinois (ABD)

Tablo 1.2: AB'de önemli cam kap üreticileri (1997)

Üye Devlet	Fabrikaların sayısı	Fırınlaraın sayısı	AB'deki üretimin % olarak dağıtımı
Almanya	33	70	26
Fransa	22	54	20
İtalya	32	54	17
Birleşik Krallık	14	32	11
İspanya	14	23	10
Portekiz	6	17	16
Hollanda	5	13	
Avusturya	4	9	
Belçika	4	9	
Yunanistan	2	5	
Finlandiya	1	2	
Danimarka	1	3	
İrlanda	1	2	
İsveç	1	2	
Toplam	140	295	1997'de 17316000 ton

Tablo 1.3: Üye devletlerde cam kap fabrikalarının dağılımı

Üretim Aralığı (Ton/gün)	<150	150 den 300	300 den 600	600 den 1000	>1000
Her aralık için fabrikaların sayısı	14	37	57	28	4

Tablo 1.4: Belirtilen aralıklarda cam kap fabrikalarının sayısı

1.3.2 Ürünler ve Pazarlar [tm18 CPIV]

Cam kaplar temel soda kireç formülasyonundan yapılır ve fosil yakıtlı ya da daha istisnai olarak elektrikli fırınlarda eritilir. Eritilmiş cama genellikle otomatik özel kısım (individual section-IS) makineler ile şekil verilir. Uygun olan durumlarda renklendirici maddeler cama eklenir ve bitmiş ürünlere yüzey giydirmeler uygulanır.

Cam kap sektörünün en önemli ürünleri şarap, bira, tatlı içecekler gibi ürünler için şişeler ve yemek endüstrisi için geniş boyunlu kavanozlardır. Bu ürünlerin genellikle emtia parçaları olduğu düşünülür, ama sektörün diğer bir önemli kısmı ilaç ve parfüm endüstrileri için fazla miktarlarda kapların üretilmesidir. Üretimin çoğu, ürünlerini sonradan paketletip AB'deki marketlere ve dünyanın geri kalanına satacak olan AB tüketici sanayilerine satılır. Çeşitli tüketici sanayilerinin nispeten önemi üye devletler arasında oldukça değişir. Bu, cam kaplar için ulusal pazarlarda ve istenilen ürünlerde özellikle renk, şekil ve tasarım olarak büyük farklılık şeklinde yansır.

Üç büyük tüketici sanayi sektörü vardır. Meşrubat sektörü, cam paketlenme kaplarının yaklaşık toplam %75'ine denk gelir. Bu stil ve köpüksüz ve köpüklü şarapları, güçlendirilmiş şarapları, birayı, tatlı içecekleri, meyve sularını ve maden sularını içine alır. Yiyecek sektörü (çoğunlukla kavanoz olmak üzere) %20'ye denk gelir. Bunun içinde tatlı ve kuru konserveler, süt ve süt ürünleri, reçeller ve ekmeklik ürünler, salça ve soslar, yağ ve sirkeler gibi çok geniş yelpazede ürünler yer alır. Parfüm ve ilaç kapları cam kap ağırlığının %5 gibi bir miktarına denk gelen ufak şişelerdir (flaconnage).

Sektörün bir önemli özelliği, boş kapların taşınmasının maliyeti satış fiyatı ile karşılaştırıldığı nispeten daha yüksek olduğu için, ulaştırma mesafesinin birkaç yüz kilometre ile sınırlı olmasıdır. Ayrıca, belli bir yer ya da bölge pazarları, özellikle de alkollü içecekler için (uzak şarap bölgeleri, viski, konyak, şampanya ve bira) cam kabın özelliğine göre oluşturulur ve pazarın hemen bir noktada toplaşmasına katkı hareket eder. Hatta şirketler, büyük gruplara çekilseler bile yerel kimlikleri ve müşterilerini koruma taraftarındırlar.

1.3.3 Ticari ve Finansal Faktörler [tm18 CPIV, CPIV stats]

Cam kaplar, oldukça dinamik pazarlar sunan, geçtiğimiz on yılda genel büyümesinde yavaşlama yaşamış, olgunluğa varmış bir sanayidir. kaçınılmaz bir şekilde yerel ya da kısa süreli değişiklikler olur, ama genel trend orta vadede bu şekilde devam etmesidir. Ancak, alternatif paketleme materyallerinden gelen rekabet sektör için giderek daha çok zor bir tehdide dönüşeceği bekleniliyor.

Bölgesel farklılaşmalara bağlı olarak sektör, bir önceki yılda %84 ile %95 arasında değişimin yanında %1997'de üretim kapasitesinin yaklaşık %90'ını kullandı. Çok sayıda fırın ve işin rekabetçi doğası, kapasitenin belli derecede kendi kendisini düzenlemesini sağlar. Fırınlara uzun süre kullanım ömürleri olmasına rağmen, çok sayıda fırının olması, her yıl belli bir bölümünü yenilenmeye yaklaşacağı anlamına geliyor. Cam kap sektöründe fazla kapasitenin olmasının bir yerde yoğunlaşma ve kısa süreli olma eğilimindedir. Alternatif materyallerden gelen rekabet fiyat seviyeleri için önemli bir faktördür.

Taşıma masraflarında dolayı çoğu ürün, üretim noktasından 500 km içinde satılır ve bu yüzden, ithalat ve ihracat epeyce sınırlı olma eğilimindedir. 1997'de AB ihracatı %8 kadar ithalatı aştı, yani 417000 tona karşılık 453000 ton ihraç edildi. Ekstradan yapılan toplam AB ticareti, 17.3 milyon tonluk sektör üretiminin sadece %5'ini yansıtıyor. Ancak, AB'nin kenarlarında bulunan alanlarda, AB üyesi olamayan ülkelerden gelen, çok düşük fiyat ama kabul edilebilir kalite ile çetin bir rekabete maruz kalabiliyor. Bu özellikle düşük değerli ürünler için geçerli. Bununla birlikte kapların yerel olarak satıldığı ama paketlenmiş ürünlerin önemli ölçüde AB ekstra ticaretine girdiğinin de hatırlanması önemlidir.

Cam kaplar için pazarı etkileyebilecek birçok faktör bulunuyor. Esas tehdit, özellikle metal (çelik ve alüminyum) ve plastiklerden gelen, alternatif paketleme materyalleridir. Camın önemli olumsuz tarafı ağırlığın (bu nedenle taşıma maliyetlerinin) ve kırılma riskinin artmasıdır. Camın esas olumlu tarafı ise temizleme ve yeniden kullanımı kolaylaştırması, geri dönüştürülebilir olması, şeffaflığı, kimyasal etkinliğinin olmaması ve üst sınıf ürünler için hissedilen kalitedir. Camın rakiplerine bağlı konumu pazar tercihlerine, maliyetlerine ve paketlemedeki gelişime bağlı olarak bölgeler ve ürünler arasında büyük değişiklikler gösterir.

Paketlenmiş ürünlere olan talebin neden olduğu dalgalanmalar da bir diğer önemli faktördür. Az miktarda ama yüksek kalitede şarap yönünde eğilimin olması gibi, tüketici alışkanlıklarındaki değişiklikler buna örnek olarak verilebilir. Üzüm hasadının büyüklüğü ve sıcak yaz zamanlarında bira ve tatlı içkiler tüketiminin artması gibi iklimsel faktörler de aynı zamanda önemli olabilir. Yabancı değişim oranlarındaki dalgalanmalar ve yerel ekonomik iklimin hakim olması, parfüm ve alkol gibi değeri yüksek ürünlere olan talebi etkileyecektir.

Cam yapımı sermaye yoğun bir sanayidir ve bu, önemli finansal kaynaklar ile oldukça büyük girişim olarak pazara girmeyi engeller. Uzun süren yavaş büyüme, yeni fırınlar kurulmasına rağmen, muhtemelen, bu fırınların zaten bölgede faaliyette olan şirketler ya da başka bölgeye giren mevcut şirketler tarafından kurulduğu anlamına geliyor. Satışlardaki büyümenin çoğuna yeniden kurulumu programlanmış olan var olan fabrikaların iyileştirilmesi ile karşılaşıyor. Ayrıca, küçük şirket sahipliğinden büyük şirket sahipliğine geçme yönünde eğilim vardır.

Genelde cam kap fırınları, sürekli çalışır ya da durumuna bağlı olarak yapısında kısmen ya da tamamen yeni kurulum gerçekleştikten sonra 12 yıla kadar küçük yerde orta düzey bir onarım ile çalışır. Orta büyüklükte bir fırının (günde 250 civarında üreten) kolay yeniden kurulumu 3 milyon avrodan 5 milyon avroya değişecektir. Gerçek masraf bariz bir şekilde daha yüksek olabilir, çünkü yeniden kurulum, üretim mekanizmasına herhangi bir yenilmeyi yapmak için uygun bir zaman olabilir. Yeşil bir üretim alanında benzer bir yeni fabrikanın kurulması, altyapı ve hizmetler de dahil olmak üzere 40 ila 50 milyon avro arasında bir maliyet doğurur.

1.3.4 Temel Çevresel Hususlar

Cam kap üretiminin neden olduğu temel çevresel problem yüksek sıcaklık, enerji yoğunluklu işlem olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Fırın emisyonları, ayrıca, (uçuculuktan ve uçucu harman maddelerinin sonradan yoğunlaşmasından kaynaklanan) tozu ve kloridleri, floridleri ve hammaddelerde saf olmayan bir şekilde bulunan metalleri içerir. Bu emisyonları azaltmak için teknik çözümler de mümkündür, ama her bir teknik, finansal ve çevresel uygulamaları beraberinde getirir.

Sektördeki atık seviyeleri oldukça düşüktür. Aslında geri dönüştürülen camın artmasıyla sektördeki önemli derecede gelişme yaşandı. AB cam kap sektöründe tüketim sonrası atıkların kullanımın ortalama derecesi toplam hammadde girdilerinin yaklaşık %50'sidir ve bazı tesislerde %90'a kadar yükselir. Camın, alternatif paketleme materyalleri karşısındaki görünen faydası yeniden kullanımı ve geri dönüşümü kolaylaştırmasıdır. Genelde cam kap üretimi, görünen su kirlenmesi sorunlarına yol açmaz. Esas olarak temizleme ve soğutmada kullanılan su hemen arındırılabilir ya da tekrar kullanılabilir.

Emisyonlarda ve enerji kullanımında önemli azaltımlar olması ile sektörde önemli çevresel geliştirmeler yapıldı. Özellikle, azot oksitleri ve sülfür dioksit için olan ana emisyon azaltma teknikleri ile önemli bir fayda sağlandı.

1.4 Düz Cam

1.4.1 Sektöre Genel Bakış [tm18 CPIV]

Düz cam, AB'deki cam sanayindeki toplam üretimin yaklaşık %22'ye karşılık gelen en büyük ikinci sektördür. Sektör, yüzdürülmüş cam ve haddelenmiş camı kapsar. 1997'de sektör, AB'de faaliyette olan 40 yüzdürme tankında yaklaşık 6.9 milyon ton cam üretti. AB'de faaliyette olan beş düz cam, dört de haddelenmiş cam üreticisi var. Düz cam Avusturya, Danimarka, Yunanistan ve İrlanda hariç, on bir üye devlette üretilir.

Sektör direkt olarak cam üretiminde 12500 kişiye istihdam sağlar. 90000 kişi daha camların bina ya da otomobillere uygulanmasında çalışır. 1986 ve 1997 yılları arasında düz cam ürünleri, 1995'te İsveç ve Finlandiya'nın AB'ye girmesi ile büyük yükselme sağlayıp önemli ölçüde arttı (Şekil 1.1'e bakın). Ancak, yıldan yıla talep önemli ölçüde dalgalanma gösterebiliyor. Örneğin, 1997'de %6'nın üzerinde bir büyüme gösterdi ama 1998-2000 arasındaki yıllık büyümenin %2-3 arasında olacağı tahmin ediliyor.

Düz cam üretimi, beş büyük grup tarafından hakim olunan dünya geneli bir iştir. Dünyadaki satış sıralamasına göre bu beş büyük grup Asahi (Japonya), Pilkington (BK), Saint-Gobain (Fransa), PPG Industries (ABD), ve Guardian Industries (ABD). AB üretimine, pazarın %70'ine sahip oldukları hesaplanan Pilkington ve Saint-Gobain hakimdir. Yakın zamana kadar bu beş önemli grubun hepsinin AB'de üretim alanları vardı.

PPG kendi yüzdürme cam fabrikalarını (2'si İtalya'da, 2'si Fransa'da) büyük ölçüde Asahi tarafından sahip olunan Belçikalı şirket Glaverbel'e sattı. 1997'de AB yüzdürme cam üreticilerinin faaliyetleri Tablo 1.5.'te özetlenmektedir. 1998-2000 yılları arasında dört yeni yüzdürme tankı inşa edilecek ve bunlar Almanya, BK, İtalya ve İspanya'da olacaktır. Dört tankın hepsi de günde 450-600 ton kapasitesinde olacak.

Şirket	Tank Sayısı	Lokasyonlar
Saint-Gobain	13	Almanya (4), Fransa (3), Belçika (2), İspanya (2), İtalya (1), Portekiz (1).
Pilkington	12	Almanya (4), UK (3), İtalya (3), Finlandiya (1), İsveç (1)
Glaverbel	9	Belçika (4), Fransa (2), İtalya (2), Hollanda (1)
Guardian	5	Lüksemburg (2), İspanya (2), Almanya (1)
Euroglas	1	Fransa (1)

Tablo 1.5: 1997'de AB içindeki yüzdürme tanklarının bölgeleri

Kurulumun coğrafik dağılımı ve büyüklükleri Tablo 1.6 ve Tablo 1.7.'de gösterilmektedir.

Üye Devlet	Yüzdürme Tanklarının Sayısı	AB üretiminin % olarak dağılımı
Almanya	9	20
Fransa	6	15
İtalya	6	15
Belçika	6	15
Birleşik Krallık	3	10
İspanya	4	10
Finlandiya	1	14
Hollanda	1	
Lüksemburg	2	
Portekiz	1	
İsveç	1	
Avusturya	-	<1
Danimarka	-	
Yunanistan	-	
İrlanda	-	
Toplam	40	1997'de 6893000 ton

Tablo 1.6: 1997'de üye devletlerdeki yüzdürme tanklarının sayısı

Kapasite aralığı (ton/gün)	<400	400 den 550	550 den 700	>700
AB'de her aralıktaki % olarak kapasite	3	31	38	28
Dünya genelinde her aralıktaki % kapasite	17	47	20	16

Tablo 1.7: Belirtilen aralıklarda yüzde olarak yüzdürme kapasitesi

1.4.2 Ürünler ve Pazarlar [tm18 CPIV, CPIV stats]

Haddelenmiş cam ve düz cam olmak üzere AB’de iki tür cam vardır. Başka düz cam türleri olmasına rağmen, ya özel cam bölümünde yer verildiği ya da 96/61/EC Direktif’inin günde 20 ton üretim kriterini karşılamadığı için bu camların bu camların bu sektör içinde olduğu düşünülmemiştir. Haddelenmiş camın büyük bölümü desenli ya da telli camlardır ve sektörün toplam ürününün yaklaşık %5’ine karşılık gelir. Desenli camlar, yeşilliği olan bahçeli evlerde, dekoratif amaçlarla ve cam kısımlar ve banyo pencereleri gibi ışığın yok olduğu uygulamalarda kullanılır. Yüzdürme cam geriye kalan %95’lik çıktıyı oluşturur ve esas olarak inşaat ve otomotiv endüstrilerinde kullanılır.

Yüzdürme cam işleminin, 1962’de Pilkington tarafından bulunmasından önce desensiz camda iki ana tür vardı: tabaka cam ve dökme cam. Tabak camı yapmak için en çok kullanılan yöntem, tanktan camın dik bir şekilde çekilmesini içeren Pittsburgh işlemiydi. Camın çekme yerinde ateşe dayanıklı yönlendirici bir alet vardır ve soğutulmuş kısıkaçlar camı alır. Cam yaklaşık 12 metre uzunluğunda tavlama sütununa geçer ve sonra şekil vermek için kesilir. Yüzdürme camdan önce mevcut en yüksek kaliteye cam dökme camdı. Dökme cam camın haddelenmesi ya da sert tabaka camın, büyük tabla ya da tablalar üzerinde dönen diskler ile taşıyıp parlatılmasından üretilir. İnce işlemler bir kerede camın iki yüzeyinin parlatılmasını içerir. Taşlama ve parlatma işlemleri, büyük miktarlarda tasfiye için katı atık üretir.

Yüzdürme işleminin faydası (ekonomik olma, ürün yelpazesi, düşük atık oranı ve kalite) o kadar çoktu ki 1962’de sunulmasından sonra yavaş yavaş tabak cam ve dökme camın yerini aldı ve artık AB’de bu camlar üretilmiyor. Bazı haddelenmiş ürünler özel uygulamalar için parlatılıyor ve dünyanın bazı yerlerinde tabaka cam ve dökme cam azalan seviyelerde hala üretiliyor. Bu dokümanın amacı içinde dökme ve tabaka cam üretimi esas olarak zamanı geçmiş teknikler olarak düşünülebilir.

Yüzdürme cam için en önemli pazarlar inşaat ve otomotiv endüstrileridir. Bu pazarlardan en büyüğü, üretilen ürünlerin %75-80’ine karşılık gelen inşaat endüstrisidir. Geriye kalan %15-25’in önemli bir bölümü otomotiv endüstrisinde cam olarak kullanılır. Bazı camlar kolayca kesilir ve direkt olarak kullanılır. Ancak düz cam üretiminin büyük bölümü başka ürünlere dönüştürülür. Otomotiv endüstrisi için bunlar çok katlı ön camlar, yan ve arka camlar ve açılır tavan camıdır. İnşaat endüstrisi için işleminden geçirilmiş temel ürün iki ya da üç cam kısımlardan oluşan ve genellikle bir tabakası giydirilmiş cam olan izolasyonlu camdır. Bu camlı üniteler inşaat pazarının %40-50’sine denk gelir ve geriye kalan, her biri %10-15’lik bölümü tutan yaldızlı, giydirilmiş, sertleştirilmiş ve tabakalı ürünlere denk gelir.

1.4.3 Ticari ve Finansal Faktörler [tm18 CPIV, CPIV stats]

Ortalama toplam ekstra AB ticareti, ticarete biraz olumlu bir denge oluşturacak şekilde AB üretiminin %20’sini karşılar. Üretimin %10’u AB üyesi olmayan ülkelere ihraç edilir ve buna yakın ama genellikle daha düşük bir rakam, ağırlıklı olarak Doğu Avrupa olmak üzere AB pazarına ithal edilir. Aynı durum hem işlenmemiş hem de işlenmiş cam için geçerlidir. Düz camın taşınması pahalıdır ve mümkün olduğunda üretim alanına yakın üreticilere tedarik edilmesi arzu edilir. Bununla birlikte, AB’de sadece 40 yüzdürme yolunun olması ve şirketler arasındaki rekabetin yoğun olması camın taşındığı uzaklıkları önemli kılabilir, ancak sonuçta maliyet kısıtlıdır. AB’de üretilen ve işlenen camın önemli bir çoğunluğu Doğu Avrupa’ya satılır.

Temel düz cam üretimi yeterince gelişmiş, döngüsel ve esas olarak emtia işidir. 1986 ve 1997 yılları arasında sektör üretilen ürün açısından değişken bir büyüme gösterdi ve 1998 -2000 arasındaki büyümenin de ortalama %2-3 arasında olması bekleniliyor. Bununla birlikte sektördeki fazla kapasite, 1992-1997 arasında gerçek anlamda düşen cam fiyatları ile birlikte sert fiyat baskılarına neden oldu.

Fiyatlar pazarlar arasında dalgalanma gösterebilir, ancak bunların en kötüsü en büyük cam üreticisi olan Almanya'da olmuştur. Düz cam talebi, inşaat ve otomotiv endüstrilerine çok fazla bağımlı olduğu için, özellikle ekonomik döngülere karşı hassastır. Ekonomik büyüme dönemleri ve düz cam talebinin yüksek olduğu dönemlerde iş oldukça rahatlatma döneminde olur. Ekonomik gerileme ve durgunluk dönemlerinde de tam tersi geçerli olur.

1987-1997 arasında kapasite kullanımı %79 ila %92 arasında değişti ve 1990-1997 arasında %86'un üzerine çok fazla çıkmadı. Sektörle ilgili genel kanı uzun dönemli karlılığı sağlamanın, kapasite kullanımının %90'ı aşmasını gerektirdiği yönünde. Tahmin edilen zayıf büyümenin, kısa dönemdeki fazlalığı eritmesi beklenmez. Durum Doğu Avrupa'daki fazla kapasite ile kötüleşir. Düz cam üretimi ve yüzdürme cam, önemli finansal kaynaklar, uzun dönemli yatırım ve yüksek teknik becerileri gerektiren sermaye yoğunluklu bir faaliyettir. Bu nedenle, sınırlı sayıda ve büyük çaplı uluslararası üreticiler karşısında, küçük üreticiler ortaya çıkmasına rağmen bunlar çok yaygın değildir.

Düz cam fırınları sürekli olarak 8 ila 12 yıl arasında çalışır ve bundan sonra durumlarına yapıdan ya toptan ya da kısmi çıkarılarak yeniden kururlar. Önemli yeniden kurulum 30-50 milyon avroya mal olacaktır ve yeni yüzdürme akışının (genellikle günde 500 ton şeklinde) maliyeti 100 milyon civarında olacaktır.

1.4.4 Temel Çevresel Hususlar

Düz cam üretiminin neden olduğu temel çevresel husus yüksek sıcaklıkta, enerji yoğunluklu işlem olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Fırın emisyonları, ayrıca, (uçuculuktan ve uçucu harman maddelerinin sonradan yoğunlaşmasından kaynaklanan) tozu ve kloridleri, floridleri ve hammaddelerde saf olmayan bir şekilde bulunan metalleri içerir. Bu emisyonları azaltmak için teknik çözümler de mümkündür, ama her bir teknik, finansal ve çevresel uygulamaları beraberinde getirir.

Üretim bölgesinde oluşan atık cam fırına tekrar gönderilir. Sektör, işlemin ve tüketim sonrası atıkların geri dönüşümü için önemli gelişmeler sağladı. Düz cam kırıkları cam sanayinin diğer bölümleri, özellikle de cam kap sektörü için faydalı hammaddedir ve üretim aşamasında çıkan atık camın %95'inin bir şekilde geri dönüşüme sokulduğu hesaplanmaktadır. Genelde, düz cam üretimi önemli su kirliliği problemleri oluşturmamalıdır. Su temel olarak temizleme ve soğutma için kullanılır ve hemen arıtıla ya da yeniden kullanılabilir.

Düz cam üretiminde önemli çevresel gelişmeler sağlandı, emisyonlar önemli miktarlarda azaltıldı ve özellikle enerji tüketiminde önemli azaltımlar sağlandı. 1995'te eritilen bir ton cam için harcanılan enerji 19675'te harcanılandan %30, 1960'ta harcanılandan %60 daha azdı. Eritme için enerji tüketim seviyeleri teorideki en düşük seviyelere yaklaşıyor.

Düz cam sektörünün bütün çevresel etkisi düşünüldüğünde ürünlerin çevreye sağladığı faydaların bazılarını göz önüne almak faydalı olur. Mesela, cam takma sonucu doğan toplam enerji hem üretiminde tüketilen enerjiyi hem de camın takılı olduğu içinde (30 sene diyelim) bina tarafından tüketilen enerjideki etkisini içerir. En ileri olan düşük sızdırması olan çift camlamada ısı kayıpları her bir camlama için %20'den, normal çift camlama için %40'dan aşağısına azaltılır. Bu binalardaki enerji kullanımına önemli etkide bulunur. Otomotiv pazarı için gelişmiş ürünler, ağırlıktan kurtararak yakıt tüketiminin azaltılmasına ve güneş kontrol camlarının kullanılmasıyla klima yükünün azaltılmasına yardım eder. İnşaat sektörü, yarısı ev ısıtmada kullanılmak üzere, AB enerji tüketiminin en az %40'ına karşılık gelir.

AB'deki evlerin yaklaşık %60'ı hala tek camlıdır. Bunların düşük sızdırmalı çift camlılar ile üst seviyeye çıkarılması sayesinde sağlanacak enerji tasarrufu yılda 80 milyon ton CO₂'dan kurtaracaktır. Camın kullanım ömrü içinde, düşük sızdırmalı giydirme cam ile başarılabilecek CO₂ emisyon azaltımı fabrikada uygulanan giydirme ile yaratılardan 1000'de 1 şeklinde genellikle daha ağır basacaktır.

1.5 Sürekli Filament Cam Elyaf

1.5.1 Sektöre Genel Bakış

[tm18 CPIV, CPIV stats]

Sürekli filament cam elyafın üretimi, tonaj olarak cam sanayisindeki en küçük sektörlerden birisidir, ama kütle oranına göre ürünler nispeten yüksek değere sahiptir. Bu sektör, diğer ürünlere dönüştürülebilen sürekli cam filamentlerin üretimini içerir. Farklı işlemle yapılan ve genellikle cam yünü olarak adlandırılan cam elyaf izolasyonunun üretiminden farklıdır. 1997'de sektör, AB'de faaliyette bulunan 26 fırında ve 12 üretim bölgesinde 475000 ton elyaf üretti. Sektör 1996 yılında 6750 kişiye istihdam sağladı.

Sektör 1968'den, 488000 ton ürün ile en yüksek seviyeye çıktığı 1995'e kadar iyi bir büyüme gösterdi. 1996'da hızlı bir düşüş oldu ve yine 1997'de %2.5 büyüme sağlandı. AB'de Ahlstrom, Bayer, Owens Corning, PPG Industries ve Vetrotex olmak üzere beş üretici vardır. Bunlardan en büyüğü, yan şirketi of Saint-Gobain olan Vetrotex'dir ve Fransa, Almanya, İtalya ve İspanya'da fabrikaları bulunur. AB'deki diğer en büyük üreticiler, Belçika, Fransa, Birleşik Krallık ve Norveç'te fabrikaları bulunan Owens Corning ve Hollanda ve Birleşik Krallık'ta fabrikaları bulunan PPG'dir.

Dünya geneli açısından, dünyadaki ürünlerin %40'ını karşılayan ABD'dir. Avrupa ve Asya bu açıdan %20-25 arasına denk gelir. Dünyanın en büyük üreticisi Owens Corning'i Vetrotex ve PPG takip eder. Sektörün coğrafik dağılımı ve fırın büyüklükleri Tablo 1.8 ve Tablo 1.9'da gösterilmektedir.

Üye Devlet	Kurulum Sayısı	Fırın sayısı (1997'de faaliyette olanlar)	AB üretiminin % dağılımı
Kuzey Avrupa	5	10	43
Almanya	1	1	
Finlandiya	1	3	
Hollanda	1	2	
Birleşik Krallık	2	4	
Merkezi ve Güney Avrupa	7	16	57
Fransa	2	4	
Belçika	2	7	
İtalya	2	3	
İspanya	1	2	
Toplam	12	26	1997'de 475000 ton

Tablo 1.8: Üye devletlerde sürekli filament kurulumlarının ve fırınlarının sayısı

Üretim aralığı (Ton/gün)	<27	27 den 55	55 den 82	>82
Her aralıkta fırın sayısı (1997)	6	7	9	4

Tablo 1.9: Belirtilen aralıklarda sürekli filament fırınlarının sayısı

1.5.2 Ürünler ve Pazarlar [tm18 CPIV, CPIV stats]

Sürekli filament cam elyaf birçok şekilde üretilir ve tedarik edilir. Bu şekiller fitilleme, mat, kırılmış kumaş, tekstil (iplik), dokuma ve çekilmiş elyafır. Esas nihai kullanımı (yaklaşık %75'i) önemli olarak termofiksaj olmak ve ayrıca termoplastikler olmak üzere alışıma maddelerinin güçlendirilmesi şeklindedir. Çok çeşitli endüstriyel uygulamada alışımlar kullanılır ve yeni uygulama alanları sürekli geliştirilmektedir.

Alışıma maddeleri için esas pazarlar inşaat endüstrisi, otomotiv ve nakliyat sektörleri ve elektrikli ve elektronik sanayidir. Diğer kullanımlar boru ve tanklarda, tarımsal aletlerde, sanayi makinelerinde ve spor sektörleri, gündelik sektörler ve denizle ilgili sektörlerdedir. İkinci en önemli nihai kullanımı bariz bir şekilde farklı uygulamalar olmakla birlikte alışımlara benzer pazarlarda kullanılan tekstil ürünleri üretimidir. Cam tekstilleri için esas pazar, baskılı devre kartlarının üretiminde kullanılan elektronik sanayidir.

Sektörün önemli uluslararası ticareti olmakla birlikte çok geniş ve giderek farklılaşan bir müşteri tabanı vardır. Bu, cam sanayinin başka bazı sektörleri gibi, belli pazarlar ya da coğrafi bölgelerdeki ekonomik problemlerden etkilenebilir olmadığı anlamına gelir. Bununla birlikte, sektörde üretilen ürünlerin yaklaşık %50'si inşaat ve otomotiv/taşıma endüstrilerine gider.

1.5.3 Ticari ve Finansal Faktörler [tm18 CPIV, CPIV stats]

Sürekli filament cam elyaf sektörü uzun süre içinde iyi bir büyüme gösterdi. Sektör ürünleri kolayca nakledilebilir ve önemli bir uluslararası ticareti vardır. Ürünler için talep artıyor olmasına rağmen fiyatları ve karlılık limitlerini baskı altına alan çok güçlü bir rekabet bulunmaktadır 1994 ile 1997 arasındaki kapasite kullanımı %95 civarında oldu, ancak 1990-1993 arasında bu oran sadece %75'ti.

1996'da ihracat ve ithalat sırasıyla %27 ve %30'du ve çok az da olsa ticaret dengesi negatifti. Birkaç yıl önce çoğunluğu Doğu Avrupa ve Kuzey Amerika'dan gelmek üzere yüksek ithalat etkisi görüldü. Cam filament üretimi, sağlam finansal kaynakları, uzun süreli yatırımı ve üst düzey teknik becerileri gerektiren çok sermaye yoğunluklu bir faaliyetir. Bu nedenle, sınırlı sayıda ve büyük çaplı uluslararası üreticiler karşısında küçük üreticiler yaygın değildir.

Bu sektördeki fırınlar sürekli olarak 8 ila 12 yıl aralığında kullanılır, sonra durumlarına bağlı olarak yapı üzerinden ya tamamen ya da kısmen çıkarılarak yeniden kururlar. Orta büyüklükte (günde yaklaşık 75 ton üreten) bir fırının yeniden kurulumu 8 milyon avro civarında bir maliyet doğuracaktır. Benzer büyüklükte yeni bir fabrikanın yeşil alana kurulması, alt yapı ve servisler de dahil olmak üzere 75 ila 90 milyon avroya mal olur.

1.5.4 Temel Çevresel Hususlar

Sürekli filament cam elyafın üretimi diğer endüstriyel faaliyetlerle karşılaştırıldığında kısmen az atık doğuran bir faaliyetir. Bununla birlikte, ince elyafın üretimi, bir ton ürün başına su içinde cam sanayi ortalamasından daha kurşun seviyelerine yol açan ani yükselmelere neden olabilir. Dokümanın yazıldığı dönemde bu atıkların çok azı süreçte geri dönüşüme sokuluyordu, ancak toprağa gömmeye alternatif bazı tavsiye seçenekleri geliştirilmişti.

Genelde cam filament üretimi önemli su kirlenmesi problemleri oluşturmamalıdır. Su esas olarak temizleme ve soğutmada kullanılır, ama giydirme materyallerinin kullanılmasının neden olacağı muhtemel emisyonlar vardır. Emisyonlar giydirme hazırlığı ve dağıtma, sarmadan forlaması ve ikincil işleme faaliyetlerinden doğabilir. Emisyonlar, uygun dağıtma ve döküntünün tutulması teknikleriyle en aza indirilebilir ve kirlenmedeki atık seviyeleri standart tekniklerle artırılabilir.

Sürekli filament üretimindeki esas çevresel husus, yüksek sıcaklıkta, enerji yoğunluklu bir işlem olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Fırın emisyonları, ayrıca, (uçuculuktan ve uçucu harman maddelerinin sonradan yoğunlaşmasından kaynaklanan) tozu ve kloridleri, floridleri ve hammadelerde saf olmayan bir şekilde bulunan metalleri içerir.

Floridlerin seviyesine göre değişen lif haline getirme işleminin doğası gereği floridler bazen harman için kullanılır ve bu da hidrojen floridlerinin emisyonunun yükselmesine neden olabilir. Bu Bölüm 4'te alınan karmaşık bir konudur. Bütün bu emisyonları en aza indirmek için teknik çözümler bulunmaktadır, ancak her bir teknik finansal ve çevresel uygulamaları beraberinde getirir. Cam filament üretiminde önemli çevresel geliştirmeler yapıldı. Emisyonlar önemli ölçüde azaltıldı ve enerji tüketiminde azaltmalar yapıldı.

Sektörün bütün çevresel etkisi düşünüldüğünde, cam filamenlerin esas nihai olarak kullanıldığı bazı alaşım maddelerinin sağladığı çevresel faydaları düşünmek yararlı olur. Birçok teknik faydasına ek olarak alaşım maddeleri üretmek için yerlerini aldıkları maddelerin, özellikle de çelik ve alüminyumun, kullandığından genellikle çok daha az enerji kullanır. Taşımada ağırlığın azalmasını (ve böylece yakıt tasarrufu) sağlar ve çürümeye karşı daha dirençli olduğundan daha uzun servis ömrü vardır.

1.6 Eysel Camlar

1.6.1 Sektöre Genel Bakış [tm27 Domestic]

Eysel cam sektörü, cam sanayi toplam ürünlerinin yaklaşık %4'üne gelen en küçük sektörlerinden bir tanesidir. Bu sektör, cam masa takımları, pişirme setleri ve bardaklar, kupalar, tabaklar, vazolar ve aksesuarları da içine alan dekoratif parçaları içerir. Eysel camın üretimi, 140 tesis ile AB'nin her çok geniş alanına dağılmış durumdadır. Bunların yaklaşık %40'ı, 96/61/E Direktif'inin günde 20 ton üretim kriterini karşılar ve AB üretiminin büyük kısmına denk düşer. 1997'de toplam üretim 1 milyon tonun biraz üzerindedir ve sektör, 90000 civarında insana direkt olarak istihdam sağlar. 1986 ile 1997 yılları arasında AB üretimindeki büyüme, bazı yıllarda üretilen ürünün düşmesi ile biraz düşük oldu.

Avrupa'da en büyük evsel cam üreticileri Bormioli-Rocco e Figlio (İtalya), Calp (İtalya), Schott (Almanya), Durobor-Ravenhead (Belçika ve Birleşik Krallık), Edinburgh Crystal (Birleşik Krallık), Nachtmann (Almanya), Verrerie Cristallerie d'Arques Vca (Fransa) ve Waterford Crystal'dır (İrlanda). Yukarıda bahsedildiği gibi, genellikle yüksek katma değerli ürünler (kurşun kristal gibi) üzerine uzmanlaşan birçok küçük şirket vardır.

Sektördeki coğrafik dağılım ve tesis büyüklükleri Tablo 1.10 ve ablo 1.11'de gösterilmektedir.

Üye devlet	Tesislerin sayısı	% AB üretimi
Fransa	15	44.5
İtalya	14	17.5
Birleşik Krallık	16	10.7
Almanya	35	9.8
Portekiz	17	2.4
Yunanistan	1	1.3
Avusturya	6	1.3
İspanya	bilinmiyor	
Belçika	2	11.8
Danimarka	1	
İrlanda	>4	
Hollanda	1	
İsveç	15	
Finlandiya	>4	0.7
Toplam	>131	1997’de 1045694 ton

Tablo 1.10: 1997’de üye devletlerdeki evsel cam tesislerinin sayısı ve dağılımı

Üretim aralığı (Ton/gün)	<20	20 den 50	50 den 100	100 den 00	>200
Her aralıkta yer alan tesislerin sayısı	>90	20	14	5	2

Tablo 1.11: Belirtilen üretim aralıklarında bulunan evsel cam tesislerinin sayısı (tahmini)

1.6.2 Ürünler ve Pazarlar [tm27 Domestic]

Evsel cam sektörü, ürünler ve kullanılan işlemler açısından kendi içinde çok fazla farklılık gösterir. Ürün yelpazesi toptan tüketici ürünlerinden değeri yüksek şarap sürahileri ve kadehlere kadar genişir. Ürün şekillendirme yöntemleri elle yapım yöntemini (üfleme borular ve kesme) ve tamamen otomatik makineleri içerir. temel ürünlerin, üstteki kısımda genel olarak belirtildiği gibi bardaklardır ve sektör çıktısının %50’sine karşılık gelir.

Ürünlerin çoğunluğu, saydam ya da renkli olabilecek soda kireç camından yapılır. Kurşun kristal ve kristal cam formülasyonları cam, şarap sürahileri ve parlak ve yoğunluklu dekoratif parçaların üretilmesi için kullanılır. Opal cam; fincan, tabak, servis parçaları ve fırın kaplarını üretmek için kullanılır. Borosilikat evsel camın Arcuisine (Vca.), Duran (Schott) ve Pyrex (Newell) gibi bazı markalar ile daha iyi tanınıyor olması muhtemeldir ve esas ürünler yemek pişirme setleri ve masa takımlarıdır. Bazı durumlarda bu değişik formülasyonlardan yapılan ürünler, mekanik ve termal şoklara karşı sertleştirilirler. Cam seramik ürünler yüksek ısı uygulamalar, özellikle de yemek pişirme parçaları olarak kullanılır ve yüksek seviyelerdeki termal şoka dayanabilir.

Nihai kullanıcı tabanı görüldüğü üzere çok geniştir; ancak, bazı üreticiler direkt olarak halka satabilmekle birlikte, doğrudan satışlar genellikle büyük perakendecilere ve toptan satanlara yapılır. Pazarın değişik kısımları çok değişik faktörlerden etkilenir. Müşteri beğenisi ve sosyal trenler çok önemlidir. Örneğin, özellikle Avrupa’da daha sıradan yemek yeme trendi daha ucuz, orta kalitede parçaların ve zamana ve bölgeye göre değişen renkli camın daha çok talep edilmesine neden oldu. Üretici için bu değişiklikler üst seviyede tutmak ve buna göre cevap vermek önemlidir. Bu nedenle, üretim faaliyetinin bir önemli tarafı da esnek olabilmektir.

Sonuç olarak evsel formülasyonlar belli bir ürüne ya da üretim gerekliliklerine göre uyarlanabilmelidir. Basit soda kireç formülasyonları bile, cam kaplar ya da düz camlar gibi başka soda kireç formülasyonlarından belli farklılıklar gösterebilir.

Kurşun kristali üretiminde makineleşmenin artması, el yapımı parçalara çok yakın kalitede parçaların üretilmesini sağladı. Bununla birlikte, bu türde bir değerli ürün, müşteri algısına karşı çok hassastır ve can alıcı etiket olan el yapımı hala yüksek fiyatlar talep etmektedir. Bu el yapımı parçaların kişisel olarak sunulan ürünlerle sınırlı olma ihtimalinin olmadığı (en azından orta vadede) anlamına geliyor.

1.6.3 Ticari ve Finansal Faktörler [tm27 Domestic]

Cam sanayinin çoğu sektörü için yaygın olduğu üzere, evsel cam sektörü, talep uzun bir süre boyunca alçak gönüllü bir büyüme yaşamış oturmuş olgunlukta bir iştir. Evsel cam ürünleri kolayca nakledilir ve üye devletler ve AB dışında ülkeler arasında sağlam bir uluslararası ticaret vardır. Bu sektör için esas tehdit, artan ithalattan gelen iç pazarlardaki rekabet ve önemli ihrac pazarlarında artan rekabettir. Artan bu rekabet fiyatlar üzerinde sert baskıya ve bu nedenle karlılığın kısıtlanmasına neden olur. 1996'da, AB'deki ihracat ve ithalat değerleri açısından sırasıyla %34 ve %17 olarak yansıdı. Bu genel ihracat dengesi açısından güzel olsa da, ithalatın büyük bölümü, AB ürünlerinin ihracının fazla olduğu bölgeler olan Türkiye ve Doğu Avrupa'dan geldi.

Sanayinin diğer sektörlerinde olduğu gibi büyük çaplı cam yapımı uzun dönemli sağlam yatırımı gerektiren çok sermaye yoğunluklu bir iştir. Bu durum, günde 20 tondan fazla üretim yapan küçük çaplı evsel cam üreticileri şeklinde kendini gösterir. AB'de üretilen ürünü büyük bölümün, bu birkaç şirket yapmasına rağmen, evsel cam sektörü, genellikle değeri yüksek al yapımı parçalar ya da niş pazarlarda uzmanlaşmış çok sayıda ufak, az sermaye yoğunluklu tesislerin olması açısından istisnadır. Bu az miktarlarda cam, kurması ve çalıştırması nispeten ucuz olan pot fırınlarında üretilir. Ancak, bunlar ekonomik olarak büyük hacimli pazarlarla asla rekabet edemez.

Evsel cam sektörü çok değişik büyüklükte ve çeşitte fırınlar kullanır ve fırın onarım zaman aralığı duruma göre değişir. Büyük fosil yakıtlı fırınlar, büyük bir onarım ihtiyacı duymadan 5 ila 8 yıl arasında çalışır. Bu durum, elektrikle ısıtılan fırınlar için 3 ila 6 yıl arası, pot fırınlar için de, potlar her 3 ila 12 ay arasında değiştirilmek suretiyle, 10 ila 20 yıl arasındadır. Genelde kullanılan elektrikle ısıtmalı, günde 300 ton kurşun kristali kapasitesi olan fırınlarda önemli bir onarım (makinenin genel bakımının yapılması haricinde) yaklaşık 2 milyon avroya mal olacaktır. Yeni bir fırın ise 8 milyon avrodur. Klasik fosil yakıt yanmalı, günde 130 ton kapasitesi olan soda kireç fırınında önemli bir onarım (makinenin genel bakımının yapılması haricinde) yaklaşık 4 milyon avroya mal olacaktır ve yeni bir fırın 12 milyon avrodur.

1.6.4 Temel Çevresel Hususlar

Genel olarak en içi cam üretimi için kullanılan hammaddeler nispeten zararsız doğal ya da insan yapımı maddelerdir. Bu durumun istisnası, kurşun oksit ve bazen de antimon ya da arsenik trioksit içeren ve emisyonlardan korunmak için dikkatli dağıtımı ve depolanmayı gerektiren kurşun kristal ve kristal cam üretimidir. Sektör nispeten düşük seviyede atık üretir ve çoğu içerde oluşan cam kırıklarının büyük bölümü seri dönüştürülür. Bunun mümkün olmadığı durumlarda cam kırıkları, kalite sınırlamalarının izin verdiği ölçüde cam kap sektörü tarafından (kurşun kristal ya da kristal cam haricinde) kaplanılır ya da geri dönüştürülür. Kalite faktörleri genellikle üretimde dışarıdan cam kırıklarının kullanılmasına engel olur.

Evsel cam üretiminin birçok şekli önemli su kirlenmesi problemleri oluşturmaz. Su genel olarak temizleme ve soğutma için kullanılır ve kolayca geri dönüştürülebilir ya da arıtılabilir. Ancak kurşun kristal ya da kristal cam üretiminde daha çok toksit bileşiklerin kullanılması kirlilik için daha yüksek bir potansiyel oluşturur.

Emisyonlar en düşük seviyeye indirilebilir ve kirlilikteki atık düzeyleri standart tekniklerle arttırılabilir.

Evsel cam üretiminin neden olduğu temel çevresel husus yüksek sıcaklıkta, enerji yoğunluklu bir işlem olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Fırın emisyonları aynı zamanda toz ve klorid izlerini ve hammaddelerde bulunan florid ve metalleri içerir. Opak camlar, hidrojen florid emisyonlarının yükselmesine neden olabilecek türde florid içeren hammaddelerinin kullanımını gerektirir. Asit parlatmanın uygulandığı durumlarda düşünülmesi gereken hava, su ve atık hususları olur.

Bütün bu emisyonları en aza indirmek için teknik çözümler mümkündür, ancak her teknik beraberinde finansal ve çevresel uygulamaları doğurur. Son yıllarda, emisyon ve enerji tüketiminin önemli ölçüde azaltılmasıyla çevresel geliştirmelere yapıldı.

1.7 Özel Cam

1.7.1 Sektöre Genel Bakış [tm25 Special, CPIV stats]

Özel cam sektörü, cam sanayinde üretilen ürünlerin yaklaşık %6'sını üretir ve tonaj olarak en büyük dördüncü sektördür. Özel cam ürünleri nispeten yüksek değere sahiptir. 1996'da brüt üretim değeri, en büyük sektör olan cam kap sektörünü neredeyse yarı değeri olan, 3 milyar avroya yaklaştı. 1997'de su camı üretimi de dahil olmak üzere sektör 1.46 milyon ton ürün üretti ve 35000 kişiye direkt olarak istihdam sağladı.

Bu, geniş yelpazede ürünler içeren çok geniş bir sektördür, ancak esas ürünleri televizyon ve monitörler için katot ışınlı tüp (KIT) camı, ışık camı (tüpler ve ampuller), optik cam, laboratuvarlar için ve teknik camlı ürünler, borosilikat ve seramik camlar (yemek pişirme parçaları ve yüksek ısı içeren evsel uygulamalar) ve elektronik endüstrisi için camlar (LCD panelleri gibi). Öze cam sektörü ile diğer sektörler arasında, özellikle de bazı borosilikat ve cam seramik ürünler açısından evsel cam sektörü ile birbiri içine geçmeler vardır. Bu ürünler sektörde üretilen parçaların çok ufak bir kısmını yansıttığından çok önemli bir unsur olarak görülmez.

Optik cam ve elektronik endüstri için cam gibi az miktarda özel ürünler yapan en küçük üreticiler 96/61/EC Direktif'inde belirtilen günde 20 ton üretim seviyesinin aşağısına düşer. KIT cam, ışık camı, borosilikat cam ve seramik camlar üreten fabrikalar en çok eşiğin yukarısına çıkacaklardır. Düşük ya da yüksek hacimde ürünler üreten bazı entegre tesisler vardır ve bu durumlarda toplam üretim bu seviyenin üzerindedir.

Genellikle kimya endüstrisinin bir parçası olduğu düşünülmesine rağmen su camı (sodyum silikat), kum ve soda külünün eritilmesiyle üretilir. Bu faaliyet, 96/61/EC Direktif'inin Ek 1 3.3 ve 3.4 sayılı kısımlarındaki tanımlamalara uyar. Bu dokümanın amaçları açısından, uygun olduğu düşünülen durumlar için ayrımlar yapılmış olmasına rağmen bu faaliyetin özel sektör içinde yer aldığı düşünülür.

1.7.2 Ürünler ve Pazarlar [tm25 Special]

Tablo 1.12 sektörün her bir kısmından çıkan ilgili ürünleri gösterir. KIT camı ve ampuller de dahil olmak üzere cam tüpler kapasitenin %80'inden fazlasına denk gelir.

Cam Türü	1997 Üretimi (ton)	Kapasite (yıllık ton)	% Sektör kapasitesi (su camı hariç)
KIT (panel ve hunil)	525000	880000	61.2
Camı Tüpler ve Ampuller	240000	290000	20.2
Borosilikat cam (tüpler hariç)	60000	90000	6.3
Diğer ışık camı	30000	60000	4.2
(kuvarz, tüp ve ampuller hariç)			
Cam seramikler	25000	65000	4.5
Kuvarz camı	5000	15000	1.0
Optik cam	6000	12000	0.8
Diğer cam türleri	10000	25000	1.8
Toplam Özel Cam	901000	1437000	100
Su camı	560000	600000	(Özel Camın %42'si)
Birleşik toplam	1461000	2037000	142

Tablo 1.12: Özel cam sektörü dökümü

AB'de, KITcamı sadece Almanya, Birleşik Krallık ve İngiltere'de üretilir. Üretim beş şirket tarafından kontrol edilir: Philips (fabrikaları Almanya ve Birleşik Krallık'ta); Schott (Almanya); Samsung-Corning (Almanya); Nippon Electrical Glass (NEG, Birleşik Krallık) ve Thomson Videoglass (Fransa). AB'de günlük kapasitesi 70 ila 360 ton arasında değişen ve ortalama kapasitesi günde 185 ton olan fırın bulunmaktadır. Fırınlara çoğunluğu çapraz yanmalı rejeneratif fırınlardır, ancak oksijen gaz yanmalı fırınlar da çalışmaktadır. Bu ürünlerin uluslararası ticareti yapılır ve pazarlar oldukça bölgeselleşmiş durumdadır. Örneğin, Avrupa'da kişisel bilgisayar sayısında ve dolayısıyla monitör talebinde de büyük bir artış vardır, ancak genel olarak televizyon üretimindeki artış bazı gelişmekte olan ülkeler haricinde çok daha yavaştır.

İlaç uygulamaları ve ışık camları için tüpler ve ışık camları için ampullerin üretimi AB'de geniş alanlara yayılmıştır, ancak en fazla üretim Almanya, Hollanda ve Birleşik Krallıkta gerçekleşmektedir. Bu türde ürün üreten 10 şirket vardır: Schott, Osram ve Techn. Glaswerke Ilmenau (Almanya); Philips (Hollanda); Demaglass (BK); Kimble Italiana ve Bormioli Rocco E Figlio (İtalya); Wheaton Lawson Mardon (Fransa); Averti (İspanya) ve Glass Componenten Lommel (Belçika).

Fırınlara soda kireç camları için günde 20-200 ton arasında ve borosilikat camları için 20-50 ton arasında değişir. Soda kireç fırınları ağırlıklı olarak çapraz yanmalı rejeneratif fırınlardır ve borosilikat fırınları, bazı rejeneratif fırınlarla birlikte büyük ölçüde elektrikle ısıtılan fırınlardır. Işık endüstrisinde kullanılan cam üretimine, tamamen ısıtılma ürünlerinin üreticileri hakimdir. Diğer ışık camları, esas olarak teknik ve otomotiv uygulamaları için olan ampul camlarını içerir ve özel cam üretiminin yaklaşık %4'üne denk gelir.

Borosilikat cam üretimi (tüp ve ısıtılma haricinde), Almanya (Schott, Desag, Jenaer ve Techn. Glaswerke Ilmenau), Fransa (Verrerie Cristallerie D'Arques) ve Birleşik Krallık'ta (Corning) yoğunlaşmıştır. Eritme kapasitesi 20-50 ton/gün arasında değişir ve fırınlar, bazı rejeneratif fırınlar ile birlikte ağırlıklı olarak elektrikle ısıtılanlardır. Ürünler evsel cam parçaları, laboratuvar ürünler, pencere ve kapılar için koruma camı ve fırın kapakları gibi yerler için dayanıklı cam panelleri içerir. Sektörde seramik cam ürünleri esas olarak Almanya'da Schott Glas ve Fransa'da Keraglass ve Eurokera tarafından üretilir. Temel ürünler ısıya dayanıklı pişirme kapları ve yemek takımları (Jena 2000 ve Pyroflam gibi) ve ocak başları için seramik düz camlardır.

Su camı Almanya (Henkel KG,APS-Akzo ve Woellner Silicat), Birleşik Krallık (ICI/Crossfield Chemicals), Hollanda (Akzo-PQ Silica Vof), Fransa (Rhone-Poulenc -Rhodia), Finlandiya (Zeofinn Oy) ve İspanya'da (FMC foret) üretilir. Pazar lideri Henkel KG'dir. Fırınlara <40 - 350 ton/gün aralığındadır ve bazı üreticiler döner fırınları kullanmakla birlikte, esas olarak çapraz yanmalı yenileyici ya da rekuperatif fırınlardır. Su camı, aynı zamanda,

96/6 1/EC Direktifi'nin Ek 1'de 3.3 ve 3.4 sayılı bölümlerdeki tanımları karşılamayan ve bu dokümanda yer verilmeyen hidrotermal işlem kullanılarak da üretilir. AB'de üretilen su camının yaklaşık %20-30'u hidrotermal işlemle üretilir.

Tablo 1.13 üye devletlerdeki üretimin dökümünü göstermektedir; ancak, bu veri, sadece 1997'deki üretimin %85'ini yansıtan KIT ve cam tüpler/ampuller için elde edilebilmektedir.

Üye Devlet	KIT Cam		Cam tüpler/Ampuller	
	Tesis sayısı	% AB Üretimi	Tesis sayısı	% AB Üretimi
Almanya	3	69	3	40
Birleşik Krallık	2	21	1	15
Fransa	1	10	1	Diğerlerine bakın
Hollanda/Belçika	-	-	2	32
Diğerleri	-	-	3	13

Tablo 1.13: AB'deki özel cam üretiminin dağılımı

1.7.3 Ticari ve Finansal Faktörler [tm25 Special, CPIV stats]

Özel camın alt sektörleri yeterince oturmuş işlerden bazı şirketlerin çok geniş pazarlarda faaliyette bulunduğu çok hızlı değişiklik pazarlara kadar değişiklik gösterir. Büyüme, karlar ve genel görünüm sektörün her bölümü için oldukça fazla farklılık gösterir. Örneğin, alternatif materyallerden gelen rekabetten dolayı 1996'da Avrupa'daki optik cam talebi durgunluk yaşarken, bilgisayar monitörler için KIT cam üretimi çok büyük bir artış gösterdi. 1986-1996 yılları arasında genel olarak sektördeki büyüme, üretim değerinin 1.75 milyar avrodan 2.76 milyar avroya yükselmesi ile sabitti.

1996'da AB özel cam (su camı haricinde) ihracatı 68500 ton, ithalatı da görünür bir açık vererek 87500 ton şeklinde gerçekleşti. İthalatta en yüksek seviye Japonya'dan (%40'tan fazla), en düşük seviye de Doğu Avrupa (%22) ve ABD'den (%12) geldi.

Büyük ölçekli cam üretimi, uzun süreli yatırımı ve teknik beceriyi gerektiren çok yoğun sermaye yoğunluklu bir iştir. Bu durum, AB'de, günde 20 tondan fazla üretim yapan özel cam üreticilerinin sınırlı sayıda olması şeklinde yansır. AB ürünlerinin büyük bir bölümünü birkaç şirket üretmesine rağmen, özel cam sektörü, genellikle değeri ve kalitesi yüksek teknik isteyen ürünlerde uzmanlaşmış çok sayıda daha az sermaye yoğunluklu, küçük tesislere sahiptir.

Camın bu küçük miktarları, genellikle elektrikle ısıtılan ve kısa devreler için çalıştırılan küçük fırınlarda üretilir. Bu faaliyetlerin çapına rağmen genellikle kalitesi yüksek ekipmanı olan sağlam uzun süreli yatırımı, kalifiye çalışanları ve geniş araştırma ve geliştirme çalışmasını da gerektirir.

Özel cam sektörü geniş yelpazede fırınları kullanır ve fırın onarım aralığı duruma göre değişir. Büyük fosil yakıtlı fırınlar özel camlar için 6 ila 7 yıl arasında, su camları için 8 ila 12 yılı önemli onarım gerektirmeksizin çalışır. Elektrikle ısıtılan fırınlar için yeniden kurulum aralığı 3 ila 4 yıl arasındadır. Sektör içinde çok fazla farklılaşmalar olduğundan maliyetleri tahmin etmek güçtür, ancak aşağıdaki maliyet tutarları sektör tarafından ve örnek üretim üniteleri tarafından uygulandı.

Üretim Birimi	Kapasite	Ürün	Toplam yatırım
Borosilikat pişirme camları, laboratuvar camları, vb.	1 fırın 35 - 40 t/gün	Genellikle yolda 26 milyon parça.	25 milyon avro
KIT cam, paneller ve huniler, Şekil verme dizileri: paneller için 3, huniler için 2.	1 Panel tank 200 - 300 t/gün 1 Huni tank 140 - 200 t/gün	Yılda 6 - 10 milyon set.	300 - 400 milyon avro
Cam seramik fırın başları.	2 fırın x 60 t/gün.	800000 m ² , 3 milyon set	175 milyon avro
Cam tüpler, eritme ve çekme.	2 fırın x 30 - 35 t/gün	16000 ton - net.	30 milyon avro

Tablo 1.14: Özel cam tesisleri için yatırım maliyetleri

1.7.4 Temel çevresel hususlar

Özel cam sektöründeki ürünlerin geniş yelpazesi ve uzmanlaşmış bir yapıda olması, diğer sektörlerde sayıldığından daha çok çeşitli hammaddelerin kullanılmasına neden olur. Örneğin, KIT huniler, kurşun kristale benzer bir şekilde, %20'den fazla kurşun oksit içeriğe sahiptir. Bazı bileşimler, arsenik ve antimon oksitleri gibi özel açıcı maddeleri gerektirebilir. Bazı optik camlar %35'e kadar florid, %10'a kadar arsenik oksit içerebilir.

Sektör nispeten az düzeyde atık üretir ve üretim içinde üretilen cam kırıklarının çoğu geri dönüştürülür. Kalite faktörleri dış ve kullanım sonrası cem kırıklarının üretimde kullanılmasını kısıtlıyordu. Gelecekte, pazar atıklarının geri dönüşümünü kolaylaştırmak için KIT cam formülasyonlarını standardize eden seçenekler geliştirildi. Su, genelde, temizleme ve soğutma için kullanılır ve kolayca geri dönüştürülebilir ya da arıtılabilir. Özel cam üretiminin, parlatma ve taşlama çalışmalarından dolayı, özellikle kurşun içeren camlarda, su kirlenmesi problemlerinin artmasına neden olabilir. Emisyonlar, dağıtma ve döküntünün tutulması uygun tekniklerle en aza indirilebilir ve kirlenmedeki atık seviyeleri standart tekniklerle arıtılabilir.

Evsel cam üretiminin neden olduğu temel çevresel husus yüksek sıcaklıkta, enerji yoğunluklu bir işlem olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Fırın emsiyonları aynı zamanda toz ve klorid izlerini ve hammaddelerde bulunan florid ve metalleri içerir. Cam formülasyonunun florid içeren hammaddelerinin kullanılmasını gerektirdiği durumlarda, hidrojen florid emisyonları içerecektir. Toksik harman maddeleri kullanıldığında dağıtım, depolama ve fırından emsiyonların olması ihtimali vardır ve uygun ölçütlerin alınması gerekir. Bütün bu emisyonların azaltılması mümkündür, ancak her teknik beraberinde finansal ve teknik uygulamaları getirir. Son yıllarda, birincil ve ikincil tedbirler alınarak emisyonların ve enerji tüketiminin önemli ölçüde azaltıldığı çevresel geliştirmeler yapıldı.

1.8 Maden Yünü

1.8.1 Sektöre Genel Bakış [tm26 EURIMA, EURIMA stats]

Maden yünü sektörü cam endüstrisi toplam üretiminin yaklaşık %6-7'sine karşılık gelir. Sektör rastgele iç içe geçen, uzunluğu değişen ve yapıştırıcı bazlı reçine ile bağlanan elyaf kütlelerinin özü olan cam yünü ve taş yünü yalıtım maddelerini üretimini içerir. Cam elyaf bazen cam yünü tanımlamak için kullanılmasına rağmen, yalıtım, farklı işlemler ile yapılan ve farklı pazarlara satılan sürekli filament cam elyaf sektörü ürünleri ile karıştırılmamalıdır.

1996'da, sektör direkt olarak 48 tesiste 10000'den fazla insana istihdam sağladı ve 2 milyar avro civarında değerde 2 milyon ton ürünü üretti. 1986-1996 yılları arasında ürün çıktı yavaşça 1.4 milyon tondan 2 milyon tona yükseldi. AB'de hakim konumda 5 ana üretici vardır: Saint-Gobain (12 üye devletinde 20 tesis); Rockwool International (5 üye devletinde 10 tesis); Partek Insulation (2 üye devletinde 6 tesis); Pfleiderer (2 üye devletinde 3 tesis) ve Owens Corning (2 üye devletinde 4 tesis). Bu şirketlerin çoğunun AB üyesi olmayan ülkelerde ya da başka sektörlerde faaliyeti bulunmaktadır. Ayrıca, AB'de birçok bağımsız üretici de bulunmaktadır. Sektörün coğrafik dağılımı ve tesis büyüklükleri Tablo 1.15 ve Tablo 1.16'da gösterilmektedir.

Üye devlet	Tesis sayısı	% 1996 üretimi
Avusturya	2	3.5
Belçika	2	4.5
Danimarka	4	9.0
Finlandiya	5	7.5
Fransa	7	16.0
Almanya	9	28.0
Yunanistan	1	Yaklaşık. 0.5
Portekiz	1	
İtalya	2	2.0
Hollanda	2	9.5
İspanya	2	3.0
İsveç	5	7.0
Birleşik Krallık ve İrlanda	6	9.5
Toplam	48	2000000 ton

Tablo 1.15: Üye devletlerdeki maden yünü tesislerinin sayısı

Tablo 1.16, 1996'da belirtilen üretim aralıklarında yer alan tesislerin sayısını gösterir. Tesislerin birçoğu birden fazla fırın kullanır. Bu rakamlar 1996'da üretilen gerçek ürünü gösterir ve çoğu tesisin tam kapasitenin altında, %10 ila %30 kapasite aralığında çalıştığı hesaplanmaktadır. 1996'da her bir tesis için ortalama üretim 41000 ton civarındadır. Bu rakamların tonajlar ve verilen uygulama için olduğu belirtilmelidir. Taş yünü ürünleri, cam yünü ürünlerinden çok daha fazla yoğundur. Bu rakamların ton cinsinden ve verilen uygulama için oldu belirtilmelidir. Taş yünü ürünleri, özellikle düşük yoğunluk aralıklarında cam yünü ürünlerinden dikkat çekici derecede daha yoğundur.

Üretim aralığı (Ton/gün)	<27	27 den 82	82 den 164	164 den 274	>274
Her aralıkta bulunan tesis sayısı	5	16	16	9	2

Tablo 1.16: Belirtilen üretim aralıklarında maden yünü tesislerinin sayısı

1.8.2 Ürünler ve Pazarlar [tm26 EURIMA]

Maden yünü ilk kez 1864'te, maden eritme fırınından çıkan eriyik mucur üzerine buhar jetinin uygulanmasıyla üretilirdi. Ticari patentler ve üretim, 1870 gibi başladı. Pazar, 2. Dünya Savaşı zamanında, hasar gören evlerin yerine ucuz prefabrik evlere talebin olduğu dönemde gözle görünür bir şekilde genişlemeye başladı. 1943'te, sadece ABD'de üretilen maden yünü 500000 tonundan fazlaydı. Birçok gelişmiş devlette termal yalıtım uluslararası kabul edilir hale geldi ve neredeyse her şekil binaya dahil edildi. Termal özelliklere ek olarak, maden yünü iyi bir akustik ve yanmaz özelliklere sahiptir.

Temel ürünler, düşük yoğunluklu yatım ruloları, orta ve yüksek yoğunlukta tablalar, üfleme için gevşek yün ve boru yalıtımıdır. Bu ürünler için esas pazarlar bina termal yalıtım (duvar, çatı, yeler, vb), ısıtma ve havalandırma uygulamaları, endüstriyel (teknik) kuruluşlar (üretim boru işleri, gemiler, kimyasal fabrikalar, kıyı ötesi ve deniz), yangından korunma, akustik (ses emme ve yalıtım), ortam geliştirme maddesi ve zemin şartlandırmasıdır. Cam yünü ve taş yünü birçok uygulamada yer değiştirebilir, ancak bazı uygulamalar birine karşı diğerinin kullanılmasını ister. Taş yünü genellikle yüksek ısıya ya da yanma korumalı uygulamalar için idealdir ve cam yünü sürekli cam yününün hassas olduğu yerlerde kullanılır.

Maden yünü için en önemli pazar, ürün çıktısının %70'ine varan inşaat endüstrisidir ve hakim ekonomik iklime aşırı bağımlıdır. AB'de bazı istisnalar olmasına rağmen, 1990'larda inşaat endüstrisi, periyodik ve yerel önemli düşüşler olmakla birlikte, çok yavaş büyüme gösterdi. Pazarı etkileyen diğer önemli faktörler hava ya da iklimsel şartlar, yakıt üzerindeki vergilendirme de dahil olmak üzere yakıt giderleri, inşaat yasaları gibi yasama ve küresel çevresel gelişmeler için baskılardır (küresel ısınma ve kirlilik).

Elyaf yalıtımı teknik uzmanlık gerektirmesine rağmen, bu bir emtia ürünüdür. Aynı pazarlarda rekabet eden ürünler arasındaki farklılaştırmak için küçük bir fırsat vardır ve rekabet esasen fiyatlara dayanır. Bu sektör içinde önemli maliyet azaltımlarına ve küçültmeye neden oldu. Fiyat rekabeti "teknik" ürün pazarında zayıftır ve yüksek sıcaklıkta esnemez boru kısımları ve ateşe dayanıklı uygulamalar gibi katma değer yüksek olan ürünleri gerektirir.

İnşaat endüstrisi için orta dereceli sıcaklık aralığı gerekli olduğundan çok çeşitlilikte alternatif yalıtım materyalleri vardır. En yaygın olanları: plastik köpükler (esas rakip), selüloz elyaf (doğranmış gazete), vermikülit ve perlit ve köpük camdır. Bu maddelerin hiçbiri bütün alanlardaki başarıda maden yününe uygun değildir, ama pazarda kendilerine göre yer bulurlar.

1.8.3 Ticari ve Finansal Faktörler [tm26 EURIMA, tm8 S2 3.03]

Maden yünü sektörü, yavaş büyüme ama artan rekabet göstermekle birlikte oldukça gelişmiş bir iştir. Birçok işletmenin kapanmış olmasına rağmen pazarda önemli miktarda fazla kapasite söz konusudur ve bu yavaş büyüme ile birleşince fiyat üzerine sert bir baskı oluşturmaktadır. 1997'de ürün tonunun satış fiyatı 1987'dekiyle aynı, yani gerçek zamanlı olarak bakılırsa daha düşüktür. Maden yünü ürünleri, büyüklüklerine göre düşük değere sahiptir ve ekonomik olarak nakledilebilir mesafelere sınırlama getirir. Buna rağmen AB içinde önemli bir ticaret vardır, ama bu fazladan AB ticareti üretilen ürününün %5'inden azını ifade eder. Fazla AB ticareti açık bir şekilde AB üyesi olmayan devletlere sınır oluşturan AB devletlerinde en fazladır. İsveç ve Finlandiya'dan Polonya, Rusya ve Baltık Devletleri'ne olan ihracat; Macaristan, Slovenya ve Hırvatistan'dan Almanya, Avusturya ve İtalya'ya olan ithalat en fazla düzeydedir.

Maden yünü üretimi, önemli finansal kaynakları, uzun dönemli yatırım ve büyük teknik yetenekler gerektiren çok sermaye yoğunluklu faaliyetlerdir. Bu durum, pazara girme karşısında önemli bir bariyer yaratır. Sektör güçlendiği için, büyük grupların bağımsız üreticileri alması yönünde bir eğilim bulunmaktadır.

Maden yünü sektörü genel olarak geri kazandırıcı ve elektrikli fırınları, cam yünü üretimi için daha az kapsamlı olarak oksijen-gaz yanmalı fırınları ve taş yünü için de ağırlıklı olarak sıcak maden eritme ocaklarını kullanır. Fırın tamir aralığı duruma göre değişir. Reküperatif fırınlar, önemli bir onar gereksiz 8 ila 12 yıl arasında, elektrikle ısıtılan fırınlar içinde 3 ila 6 yıl arasında değişecektir. Oksijen gaz yanmalı fırınlar tam anlamıyla kurulmadı, ancak onlarında reküperatif fırınlara benzer olması bekleniliyor.

Döküm ocağı fırınları çok uzun süre devamlı olarak çalışmaz. Genellikle, kapatmalar arasında 1 haftadan 3 hafta olacak şekilde çalışır. Bu kadar gelişmiş bir sektörde yeni fabrikalar nadirdir, ancak 45 milyonluk bir yatırımı ifade eden yılda 20000 kapasiteli cam yünü fabrikası 1998’de inşa edildi. Benzer miktarda (yani yılda yaklaşık 40000 ton) benzer bir yatırımı ifade edecektir. Cam fırını yeniden kurulumlarının maliyetleri, diğer sektörler için bahsedilenlerle benzerlik gösterir.

1.8.4 Temel Çevresel Hususlar

Bütün cam yapımı faaliyetlerinde genel olduğu üzere maden yünü üretimi de yüksek ısı, enerji yoğunluklu bir işlemdir. Fosil yakıtlı fırınlar için yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Bu, Fırın emisyonları aynı zamanda toz ve klorid izlerini ve hammaddelerde saf olmayan bir şekilde bulunuyorsa metalleri içerir.

Bu sektörde, (elyafa yapıştırıcının eklendiği) şekil verme alanı ve (ürünün kuruduğu ve yapıştırıcının sertleştiği) sertleştirme ocağı olmak üzere iki önemli emisyon kaynağı daha vardır. Şekil verme alanı emisyonlarının önemli derecelerde parçacıklı madde, fenol, formaldehit, amonyak ve su içermesi muhtemeldir. Sertleştirme ocağı emisyonları uçucu yapıştırıcı bileşikler, bozulan yapıştırıcı ürünlerini ve fırın brülörlerinden çıkan yanma ürünlerini içerir. Bütün bu emisyonları en aza indiren teknik çözümler mümkündür, ancak her bir teknik finansal ve çevresel sonuçları beraberinde getirir. Önemli çevresel sonuçlar, emisyonların oldukça azaltıldığı ve enerji tüketiminde önemli azaltımların yapıldığı maden yünü üretiminde ortaya çıkar.

Genelde maden yünü üretimi önemli su kirlenmesi sorunları ortaya çıkarmamalıdır. Temel işlemler, esas olarak şekil verme alanından ve sertleştirme fırından çıkan buharlaşmadan dolayı suyun net kullanıcılarıdır. İşlem suyu sistemleri genellikle temiz suyun yukarı çıkmasıyla kapalı bir döngü içindedir, temiz su sistemlerinin kirlenmesinden korunmak için gerekli önemlerinden alınması gerekir. Dağıtım ve döküntünün tutulması için uygun tekniklerin alınmasıyla emisyonlar en aza indirilebilir ve kirlilik içindeki atık seviyeleri standart tekniklerle artırılabilir.

Sektörün büyük çevresel etkisi göz önüne alındığında ürünlerin sağladığı bazı çevresel faydalarını düşünmek de yararlı olur. Maden yününün üretimi, ürünlerin kullanımı süresinde sağlanması muhtemel olan tasarruflar ile karşılaştırıldığında nispeten az enerjiyi gerekli kılar. Kurulumu takiben bir aydan kısa sürede, maden yünü ürünleri kendi üretimleri için kullanılan enerjinin bütün miktarında tasarruf sağlayabilir. Binalar için genel olan kullanımından 50 yıl sonra tasarrufu sağlanan miktar, üretim için harcanılan enerjiden 1000 kat daha fazla olabilir. Güç üretiminde fosil yakıttan çıkan genel CO₂ emisyonları ile karşılaştırıldığında, bir ürün, üretiminde yayılan CO₂’nin miktarından 1000 kat daha fazlasının tasarrufunu sağlayabilir. Örneğin, boru, kazan ve üretim fabrikasındaki yüksek sıcaklıklarda tasarruflar gözle görülür derecede yüksek olabilir ve yatırımdaki çevresel geri dönüş haftalardan ziyade günler içinde olabilir.

1.9 Seramik Elyaf

1.9.1 Sektöre Genel Bakış

[tm40 ECFIA]

AB’de şu anda yaklaşık 800 kişiye istihdam sağlayan altı fabrika bulunmaktadır. 1997’deki tahmini üretim, ağırlıklı olarak Birleşik Krallık ve Fransa’dan elde edilmek üzere (cam sanayinin toplamının %0.15’ine denk gelen) yaklaşık 42000 ton civarında oldu. Thermal Ceramics (3 tesis), Saint-Gobain Group’un Carborundum’un kolu (2 tesis) ve Rath (1 tesis) olmak üzere AB’de sadece üç faaliyette olan üç fabrika bulunmaktadır.

Bu dokümanda, sadece, mineral parçacıkların eritilmesiyle yapılan seramik elyafların üretimi ele alınmaktadır. Bazı elyaflar (kristal alümin elyaflar gibi) kimyasal yollarla üretilir, ancak bu faaliyetler 96/61/EC Direktifi'nin Ek 1'deki 3.3 ve 3.4 sayılı alt bölümlerinde verilen tanımlar içinde yer almamaktadır.

Üye devlet	Tesislerin sayısı
Fransa	2
Almanya	1
İtalya	1
Birleşik Krallık	2
Toplam	6

Tablo 1.17: Üye devletlerde seramik elyaf tesislerinin dağılımı

1.9.2 Ürünler ve Pazarlar

[tm40 ECFIA]

Seramik elyaf, esas olarak yüksek sıcaklıkta (1000 - 1460°C) yalıtım maddesi olarak kullanılan, camı, silika içeren, lifli bir maddedir. Temel kullanımları ve pazar ayrımları: fırın ve ısıtıcı kaplamalar (%50), cihaz (20), metal işleme (%10), genel endüstriyel yalıtım (%10), otomotivde kullanımlar (%5) ve yangın koruma (%5). Ana ürün şekilleri dökme elyaf, battaniye (keçe ve modüller), yiyecek içecek, vakumla şekil verilmiş parçalar ve tekstiller. Bütün bu şekiller dökme elyaftan elde edilir.

Ürünlerin çoğu petrol, petrokimya, demir-çelik, seramik, cam, demir olmayan metaller, çimento gibi geleneksel ağır sanayiye satılır. Seramik elyaf ürünler nispeten yüksek değerlidir ve ekonomik olarak dünyanın birçok pazarına nakledilebilir. Ürünler genellikle otomotiv katalitik dönüştürücüler, kalçetalar, piston balataları, ısı kalkanları ve fren balataları gibi diğer ürünlere dönüştürülebilir ya da onlara katılabilir. Esas ürünün %30-40 kadarı, ikincil uygulamalarda bileşen olarak kullanılır.

1.9.3 Ticari Faktörler

[tm40 ECFIA]

AB'de seramik elyaf üreten şu anda üç şirketin olması durumu, sektörde birleşmeler olması sonucudur. Bunlar içinde en dikkate değer olanı Karborundum'un Saint-Gobain tarafından alınması ve mevcut holding Kerlane ile birleşmesidir. Sektörü etkileyen temel unsurlar üretim maliyetleri (enerji, hammaddeler ve emek) ve tüketici endüstrilerindeki etkinliktir. AB'den önemli derecede ihracat vardır ve ithalat nispeten düşüktür.

Genel kapasitede yeni bir fabrikanın tahmini maliyeti 3 ila 8 milyon avro arasındadır. Fırınlara elektrikle ısıtılır ve 3 ila 5 yıl arasında kullanım ömürleri vardır. Fırın maliyeti 1 ila 2 milyon avro arasında olduğu hesaplanmaktadır.

Refrakter kaplamada, pazar seramik elyafları tuğla gibi diğer refrakter materyalleriyle doğrudan rekabet eder. Diğer uygulamalarda esas rekabet maden yününden ve bir takım özel silika ve alümin elyaflardan gelir. Özel elyaftan yapılan ürünler dikkate değer derecede pahalı iken, taş ve cam yünü ürünleri, özel elyaftan seramik elyaftan yapılanlardan önemli derecede ucuzdur. Seramik elyaflarda özel termal ve fiziksel özelliklere sahip olarak alternatiflerden gelen ani rekabetçi tehditler önemli olarak dikkate alınmaz.

1.9.4 Temel Çevresel Hususlar

Cam sanayinden diğer sektörlerden farklı olarak seramik elyaf sektörü, sadece elektrikle ısıtılan fırınları kullanır ve bu nedenle fırından çıkan direkt emisyonlar çok düşük seviyede olur ve kolayca kontrol edilir. Temel çevresel husus, elyaf içerebilen parçacıklı maddenin havaya emisyon salmasıdır. 67/548/EEC Direktifi'nin Tehlikeli Maddeler kısmındaki tanımlarda seramik elyaf, yakın zaman önce, 2. kategori olan kanserojen madde altında sınıflandırıldı. Bu nedenle, çalışma ortamındaki elyaf emisyonları ve çevreye salınan emisyonlar dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir. Genellikle atık seviyeleri nispeten azdır ve şüpheli katı maddeler ve bazı organik bileşikler içeren düşük seviyede sulu emisyonlar ikincil işleme çalışmalarından doğabilir. Seramik elyaftaki emisyon seviyeleri, gerekli görülen yerlere toz azaltım donanımının yerleştirildiği AB'deki tesislerde oldukça azdır.

1.10 Cam Hamurları

1.10.1 Sektöre Genel Bakış [tm46 ANFFECC]

Cam hamuru sektörü daha çok seramik sanayisiyle ilgilidir; ancak, 96/61/EC Direktifi'nin Ek 1'de 3.4. bölümündeki tanımlar içinde yer aldığından bu dokümanın içinde yer almaktadır. Cam sanayinin en küçük sektörlerinden biri olarak AB'de yılda 1-1.25 milyon ton cam hamuru üretimi yapılır. Çalışanların sayısını ortaya koymak güçtür, çünkü birçok şirket için cam hamuru üretimi işlemlerinde sadece çok ufak bir bölümü oluşturur. Sektör cam takma ve enamel için cam hamuru üretilmesini içerir ve seramik materyallerin ve metallerin süslenmesi için kullanılır.

Çoğu İspanya ve İtalya'da olmak üzere AB'de 60 civarında tesis olduğu hesaplanmaktadır. İspanya, AB'deki üretimin yarısından fazlasına denk gelen dünyanın en büyük üreticisidir. İtalya'da daha fazla tesis bulunmaktadır, ancak üretim hacimleri azdır. EB'deki üç esas üretici Cerdec, Ferro ve Cookson Matthey'dir. Bu üç şirket faaliyette olan bir dizi şirkete sahiptir ve İspanya'daki Colorobbia gibi bağımsız bir takım şirketler de bulunmaktadır.

Üye Devlet	Tesislerin Sayısı
İspanya	17
İtalya	32 (tahmini)
Portekiz	1
Belçika	1
Almanya	4
Hollanda	1
Birleşik Krallık	4
Toplam	60 (tahmini)

Tablo 1.18: Üye devletlerdeki cam hamuru tesislerinin dağılımı (tahmini)

Üretim aralığı (Ton/gün)	<80	80 den 150	>150
Her aralıkta yer alan tesis sayısı	>14	>5	>5

Tablo 1.19: Belirtilen üretim aralıklarında cam hamuru tesislerin sayısı (tahmini)

Not: İtalya'daki tesislerin büyüklüğüyle ilgili mevcut bir bilgi yok.

1.10.2 Ürünler ve Pazarlar [tm46 ANFFECC, tm8 S23.03]

Cam hamuru esas uygulama alanı seramik camlar ve boya maddelerinin üretimidir. Bu camlar, çini ve masa takımları gibi seramik yapıların yüzeyine uygulandığında ve sonra da yakıldığında su geçirmez, koruyucu ve dekoratif bir giydirmeye sağlanır. Cam hamurları, kendi camlarını yaratan seramik eşya üreticilerine saf bir şekilde verilebilir ya da cam hamuru üreticileri kendi camlarını üretebilir ve tedarikinde bulunabilirler. Sektör genelinde cam hamuru üreticilerinin yarısından fazlası, kendi camlarının üretiminde kullanır.

Enamel cam hamurları enamel camların üretiminde, kimyasal ve fiziksel açıdan dayanıklı bir kaplama sağlamak için esas uygulama olarak metal yüzeylerin giydirilmesi şeklinde kullanılır. Enamellerin esas pazarı pişirme takımlarının üretiminde, ocak ızgarası, ocak ve ızgara gibi eşyaların kaplanması şeklinde olur. Enamellerin için diğer uygulamalar depolama tanklarını, ambarları, banyoları, elektronik bileşenleri ve işaret levhalarını içerir.

Cam hamurları nispeten yüksek değerde, düşük hacimde ürünlerdir ve taşıma maliyetleri genellikle toplam ürün fiyatının nispeten küçük bir kısmını riske atar. Sanayi içinde dünya geneli bir birleşme diğerlerine nazaran birkaç tanedir, ancak büyük fabrikalar daha geniş uluslararası pazarlara ürünlerini sunar.

1.10.3 Ticari Faktörler [tm46 ANFFECC, tm8 S23.03]

1997’de, İspanya’daki, önemli bir kısmı AB içinde gerçekleştiği düşünülen, satışların %15’ten fazla bir artış göstermesiyle üretim hacminde genel olarak önemli bir büyüme görüldü.

Hem AB içindeki üreticiler hem de üye devletler arasında sert bir rekabet vardır. AB’de üretilen cam hamurlarının çoğu içeride kullanılır ama AB üreticileri için ihracat önemli bir pazardır ve AB üyesi olmayan ülkelerden gelen ithalattan genel olarak önemli ölçüde büyüktür. Cam hamuru sektörünün başarısı seramik sektörünün başarısını tümüyle yakından takip eder ve seramik sektörü daralırsa, ona hizmette bulunan cam hamuru sektörü de aynı şekilde sıkıntı çekecektir. AB’ye cam hamuru kullanan ürünlerin ithal edilmesi, cam hamurlarının ithal edilmesinden daha büyük bir tehlike oluşturmaya muhtemeldir.

Cam hamurunun üretimi iyi oturmuş bir endüstridir ve yıllardır seramik sektörüne hizmet etmektedir. Cam hamurunu içermeyen, ham camlardan gelen rekabet, nispeten zayıf filtreleme özellikleriyle sınırlıdır. Masa takımları için plastik giydirmeler geliştirildi, ancak bunlar ham camlar gibi aynı filtreleyebilme problemleri yaşar; özellikle de genel olarak yemekler içinde bulunan organik asitlerin olması durumunda. Plastik giydirmelerin ne kadarının cam hamuru katılan çini camlar açısından pazarı nasıl etkileyebileceği bilinmemektedir. Enamel camlarına karşı alternatiflerden gelen tehditler çok azdır. Boyama gibi alternatifler potansiyel anlamda benzer uygulamalarda kullanılabilir, ancak sıcaklık, kimyasallara ve çizilmeye karşı dayanıklılığı ve “temizlenebilmesi” açısından enamellerin yerini tutmaz.

1.10.4 Temel Çevresel Hususlar

Cam hamuru üretiminin neden olduğu temel çevresel husus yüksek sıcaklıkta, enerji yoğunluklu bir işlem olmasıdır. Bu, yanma ürünlerinin emisyonunu ve atmosferdeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitlenmesini, yani sülfür oksit, karbondioksit ve azot oksitlerini ortaya çıkarır. Fırın emisyonları aynı zamanda (uçuculuktan ve uçucu harman materyallerinin sonradan yoğunlaşmasından doğan) toz ve klorid izlerini ve hammaddelerde bulunan florid ve metalleri içerir. Enamel camlar için üretilen cam hamurları, harmanda florid içeren maddelerin kullanılmasından dolayı güçlü florid emisyonlar doğurur. Bu emisyonların hepsini teknik çözümlerle en aza indirmek mümkün, ama her teknik çevresel ve finansal sonuçlar doğurur.

Su esas olarak soğutma ve temizlemede kullanılır, ancak aynı zamanda cam hamuru (su vererek soğutma) üretmek için eritilmiş camın ezilmesi ve ıslak öğütme için kullanılır. Genelde su bağlantıları, bir tasfiye yeri olan kapalı bağlantılardır. Su katarak soğutma ve öğütmenin bir tasfiye yerine ihtiyacı olmayabilir, ancak ayrılması gereken katı maddelere ihtiyacı olacaktır.

Esas olarak su kanallarından toplanılan katı maddelerin oluşturduğu atık seviyesi oldukça düşüktür. Birçok durumda toz azaltma donanımından çıkan atık, fırına geri gönderilebilir.

2 UYGULANAN İŞLEMLER VE TEKNİKLER

Bu bölümün ilk üç genel kısmı Cam Sanayii'ndeki sektörlerin çoğuna uygulanan genel ham madde ve eritme konularını kapsamaktadır. Daha sonraki bölümler; diğer bir deyişle taş yün, cam hamurları ve seramik elyaf sektörleri kullanılan materyal ve teknikler bakımından farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar her bir sektör ile bağlantılı kısımlarlarda tartışılmıştır.

2.1 Materyallerin Dağıtılması

Cam Sanayii'ndeki çeşitlilik geniş bir dizi ham madde kullanımına sebep olmaktadır. Bu materyallerin büyük çoğunluğu ya doğala olarak oluşan mineraller ya da insan yapımı ürünlerden oluşan organik olmayan katı bileşenlerdir. Bunlar kaba materyallerden incecik bölünmüş tozlara kadar değişiklik göstermektedir. Sıvılar ve, daha az boyutta gazlar da çoğu sektörde kullanılmaktadır.

Kullanılan gazlar; hidrojen, nitrojen, oksijen, sülfür dioksit, propan, bütan ve doğal gazı kapsamaktadır. Bunlar geleneksel yöntemlerle depolanmakta ve boşaltılmaktadır, örneğin; direk boru hatları, atanmış yığın depolama ve silidirlir. Geniş bir dizi sıvı kullanılmaktadır ve bunlar; bazıları dikkatli boşaltma gerektiren fenol ve güçlü mineral asit gibi sıvılardır. Tüm standart depolama ve boşaltma şekilleri sektörde kullanılmaktadır, örn. ara yığın depolama (IBC'ler), tamburlar ve daha küçük konteynırlar. Sıvı depolama ve boşaltma işlemlerinden kaynaklanabilecek emisyonların azaltılması için olası teknikler Bölüm 4'te tartışılmaktadır.

Çok kaba materyaller (örn. parçacık çapı ile > 50 mm) sadece taş yün üretiminde kullanılmaktadır. Bu materyaller demiryolu veya karayolu nakliyesi ile dağıtılmaktadır ve ya doğrudan silolara aktarılmakta ya da koylara istiflenmektedir. Depolama koyları açık, kısmen kapalı veya tamamen kapalı olabilir ve bunların hepsinin örnekleri sektörde mevcuttur. Kaba materyallerin silolarda depolandığı durumlarda bunlar genellikle açık ve bir konveyör sistem ile doldurulmuştur. Materyaller besleyici konveyör üzerinde eşzamanlı koylularla karıştırılmaktadır.

İnce taneli ve toz halindeki ham maddeler demir yolu veya karayolu tankerleri ile dağıtılmaktadır ve ya havasal ya da mekanik olarak yığın depolama silolarına transfer edilmektedirler. Materyallerin havasal transferleri kuru olmalarını gerektirmektedir. silolardan yer değiştiren hava genellikle arıtılmaktadır. Daha düşük yoğunluktaki materyaller çuvallarla veya varillerle dağıtılabilir ve genellikle karıştırma kazanlarına eklenebilirler.

Geniş bir zamanda sürekli işlemlerde ham maddeler tam oluşturulmuş “yığın” vermek için ağırlıklarının ölçüldüğü daha küçük ara silolara aktarılmaktadırlar. Yığın daha sonra karıştırılmakta ve bir veya daha fazla sarpından fırına eklendikleri fırın alanına nakliye edilmektedir. Tamamen açık sistemlerden tamamen kapalı vidalama sistemlerine kadar sektörde çeşitli besleyici mekanizma bulunmaktadır. Nakliyat sırasında ve fırından ince parçacıkların “taşınmasında” toz oluşumunu azaltmak için, yığında belli bir miktar su bulunabilir, genellikle % 0 – 4 (bazı işlemler, örn. borosilikat cam üretimi kuru yığın materyal kullanılmaktadır). Su içeriği karıştırma işlemi sonunda su buharı olarak sunulabilir ancak ham maddeler kendi özlerinde su içeriğine sahip olabilirler. Soda-kireç camında su buharı ısıyı 37°C'nin üzerinde tutmak ve böylece soda külünün hidratlaşması ile yığının kurumasını engellemek için kullanılmaktadır.

Aşındırıcı ve daha geniş parçacık boyutuna sahip olması nedeniyle cam kırıntıları genellikle birincil yığın materyallerden ayrı olarak boşaltılmaktadır ve ayrı bir sistem ile ölçülü miktarlarda fırına eklenebilirler.

Sürekli olmayan işlemlerde yığın tesisi daha küçüktür ve genellikle el ile işletilmektedir. Karıştırma sonrası, her biri yığın eritici için bir yük içeren küçük devingen sarpınlara depolanabilir.

Birçok yükleme yapılacaktır (bazen farklı formülasyonların), ve belli bir eritme sürecinde eriticiye yakın depolanacaktır. Büyük ölçüde eritmede genelde, karışmış yığın kullanımdan önce çok fazla depolanamaz çünkü homojen bir eri elde etmede zorluk oluşturacak olan farklı bileşenler oluşabilir. Yığındaki su varlığı bu eğilimi hafifletmeye yardım etmektedir.

2.2 Cam Eritme

Eritme, erimiş bir cam elde etmek için her bir ham maddenin yüksek sıcaklıkta birleşimi, cam üretiminde merkez safhadır. Camı eritmek için; istenilen ürüne, son kullanımına, işlemin boyutuna ve önde gelen ticari etkenlere dayanan birçok yol bulunmaktadır. Cam oluşumu, ham maddeler, eritme teknikleri, yakıt seçimi ve fırın, bu etkenlere dayanacaktır.

2.2.1 Cam eritmek için gerekli Hammaddeler [tm18 CPIV, tm21 Schott]

Tablo 2.1 cam yapımında kullanılan en önemli ham maddeleri göstermektedir. Daha detaylı tablo Bölüm 3'te verilmektedir.

Camı oluşturan maddeler Silis kum, işlem cam kırıntıları, sonraki tüketici cam kırıntıları Ara ve değiştirici materyaller Soda külü (Na_2CO_3), kireçtaşı (CaCO_3), dolomit ($\text{CaCO}_3.\text{MgCO}_3$), feldispat, nefelin siyenit, potasyum karbonat, florispat, alüminyum oksit, çinko oksit, kurşun oksit, baryum karbonat, bazalt, susuz sodyum sülfat, kalsiyum sülfat ve jips, baryum sülfat, sodyum nitrat, potasyum nitrat, bor içeren materyaller (örn. boraks, kolemanit, borik asit), antimon oksit, arsenik trioksit, yüksek fırın cürufu (karışık kalsiyum, alüminyum, magnezyum silikat ve demir sülfat) Renklendirme/Renk giderme öğeleri Demir kromit ($\text{Fe}_2\text{O}_3.\text{Cr}_2\text{O}_3$), demir oksit ($\text{Fe}_2\text{O}_3$), kobalt oksit, selenyum/çinko selenit
--

Tablo 2.1: Cam yapılan önemli ham maddeler

Kum, SiO_2 'nin ana kaynağı olarak cam yapımında en önemli ham maddedir. Kum çok genel bir ham maddedir ancak çoğu birikinti cam yapımı için yeterli safiyette değildir. Kumun erime noktası ekonomik eritme için çok yüksektir ve bir akışkan öğeye, genellikle sodyum oksite erime performansının azaltılmasında gerek duyulmaktadır.

Soda külü (Na_2CO_3) akışkan öğe olan sodyum oksitin (Na_2O) ana kaynağıdır. Eritme süresince sodyum oksit erinin bir parçası olmaktadır ve karbon dioksit salınımı gerçekleşmektedir. Sodyum sülfat bir arındırıcı ve oksitleyici olarak eklenmektedir ve ikincil bir sodyum oksit kaynağıdır. Sodyum oksit, cama ilave edilmekte ve sülfür dioksit gazları eri ile salınmaktadır. Potasyum karbonat (K_2CO_3) bir akı olarak işlev görmektedir ve özellikle özel cam için bazı işlemlerde kullanılmaktadır. Potasyum oksit erinin içine ilave edilmekte ve karbon dioksit emisyonu oluşmaktadır.

Diğer metal oksitler sertliği ve kimyasal dayanıklılığı geliştirmek için yapısal şebekeyi güçlendirmek için cama eklenmektedir. Kalsiyum oksit (CaO) bu etkiye sahiptir ve kireçtaşı veya tebeşir formunda kalsiyum karbonat (CaCO_3) olarak cama eklenmektedir. Hem kalsiyum karbonat hem de magnezyum karbonat (MgCO_3) içeren dolomit olarak da eklenebilir.

Alüminyum oksit (Al_2O_3) kimyasal dayanıklılığı geliştirmek ve daha düşük ısılarda akışkanlığı artırmak için eklenmektedir. Genellikle nefelin siyenit ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$), feldispat veya alüminyum oksit olarak eklenmektedir ancak yanma fırını cürufunda ve feldispat kumunda da bulunmaktadır.

Kurşun oksitleri (PbO and Pb_3O_4) titreşimliliği geliştirmek ve kurşun kristal gibi ürünlere daha iyi parlaklık kazandırmak adına camın ateşe dayanıklı dizinini artırmak için kullanılmaktadır. Baryum oksit (baryum karbonattan elde edilen), çinko oksit veya potasyum oksit, kurşun oksite alternatif olarak kullanılabilir ancak bunlar kurşun kristallere nazaran daha az düzeylerde yoğunluk ve parlaklık üretmektedir. El yapımı camın işlenebilirliğinde de aksilik mevcuttur.

Bor trioksit (B_2O_3) bazı ürünlerde, özellikle özel cam (borosilikat camlar) ve cam elyaflarında (cam yün ve sürekli filament) gereklidir. En önemli etki camın genişleme katsayısının azaltılmasıdır ancak elyaflarda, elyaflanmaya yardım için akışkanlık ve likiditeyi de değiştirmekte ve su ile müdahale için dayanıklılık sunmaktadır.

Aşağıdaki Tablo 2.2 cama renk vermek için kullanılan bazı elementleri göstermektedir. Renk verici materyaller ya ana yığında ya da fırınlama sonrası kanalda (renklendirilmiş cam hamuru halinde) eklenebilir.

Element	Ion	Renk
Bakır	(Cu^{2+})	Açık Mavi
Kromyum	(Cr^{3+})	Yeşil
	(Cr^{6+})	Sarı
Manganez	(Mn^{3+})	Mor
Demir	(Fe^{3+})	Sarımsı kahverengi
	(Fe^{2+})	Mavimsi yeşil
Kobalt	(Co^{2+})	Yoğun mavi, borat camlarda, pembe
	(Co^{3+})	Yeşil
Nikel	(Ni^{2+})	Cam matrisine bağlı olarak grimsi kahverengi, sarı, yeşil, mora çalan mavi,
Vanadyum	(V^{3+})	Silis camlarda yeşil, borat camlarda kahverengi
Titanyum	(Ti^{3+})	Mor (azaltma şartları altında eritme).
Neodimyum	(Nd^{3+})	Kırmızımsı mor
Selenyum	(Se^0)	Pembe (aynı zamanda Se^{2+} , Se^{4+} , ve Se^{6+} , cam türüne bağlı olarak)
Praseodimyum	(Pr^{3+})	Açık yeşil

Tablo 2.2: Renk vermede kullanılan elementler

Florür içeren materyaller (örn. florispat CaF_2) ürünlerin donuklaştırılmasında kullanılmaktadır. Buna, bulanık ve donuk olmasını sağlayan camda kristal oluşumu ile ulaşılmaktadır. Florür aynı zamanda elyaflaşmaya yardım etmek ve filament kırılmasını azaltmak adına yüzey gerginliğini ve sıvılık özelliğinin iyileştirilmesi için sürekli cam filament sektöründe kullanılmaktadır.

Cam yapımında giderek önem kazanan ham madde cam kırıntısıdır, hem evsel cam kırıntısı hem de dış ve yabancı cam kırıntısı. Neredeyse tüm işlemler kendi evsel cam kırıntılarını geri dönüştürmektedir ancak bazı işlemler için kalite engelleri, ekonomik olarak uygunluk göstermesi adına yeterli kalitede yabancı cam kırıntısı temin edilmesini ve tutarlılığı sağlamak mümkün olmayabilir düşüncesi oluşmaktadır. Cam kap sektöründe yığının % 80'i üzerinde cam kırıntıları kullanımı bazen uygulanmaktadır. Cam kırıntısı el değmemiş ham maddeler göre erimek için daha az enerji harcamaktadır ve her 1 tonluk cam kırıntısı yaklaşık olarak 1.2 tonluk el değmemiş materyal yerini almaktadır.

2.2.2 Eritme İşlemi

[tm21 Schott]

Eritme işlemi kimyasal reaksiyonların ve fiziksel işlemlerin bir birleşimidir. Bu kısım sadece bu sürecin bazı önemli yönlerinin kısa bir özetinin sunmaktadır. Eritme her birinin çok yakın kontrol gerektirdiği birçok safhaya ayrılabilir.

Isıtma

Cam eritiminde ısı sağlamanın geleneksel ve en genel yolu; fırına eklenen ve daha sonra eri halinde fırından çekilen yığın materyalin yılanması üzerine fosil yakıtların yakılmasıdır. Camın erimesi ve arındırılması için gerekli sıcaklık tam formülasyona bağlıdır ancak 1300°C ve 1550°C arasındır. Bu sıcaklıklarda ısı aktarımı özellikle 1650 °C'e kadar alevler ile ısıtılan fırın tacından ve aynı zamanda direk alevlerden alınan ışınsal iletim ile yapılmaktadır. Her bir fırın tasarımında ısı girdisi işleme eklenen bitmiş camın tutarlı homojenliğini sağlamak adına dönen ısı yayıcı akımları erimiş yığın materyallerde işleme geçirmek için düzenlenmiştir. Fırında bulunan erimiş camın kütlesi sabit tutulmaktadır ve kalan süre konteynır fırınları için üretiminin 24 saatlik, düz cam fırınları için ise 72 saatlik kısmıdır.

Birincil Eritme

Yığın materyallerin düşük termal iletkenliği sebebiyle eritme işlemi ilk başlarda oldukça yavaştır ve bu durum çok sayıda kimyasal ve fiziksel işlemin gerçekleşmesine zaman tanımaktadır. Materyaller ısındıkça nem buharlaşmakta, bazı materyaller bileşenlerine ayrılmakta ve ham maddelere sıkışmış gaz kaçmaktadır. İlk tepkimeler (karbon atımı) 500°C civarı sıcaklıkta gerçekleşmektedir. Ham maddeler 750°C ve 1200°C sıcaklıkları arasında erimeye başlamaktadır. İlk olarak akışkan öğelerin etkisiyle çözülmeye başlamaktadır. Kumdan gelen silis, silikatların oluşumu için soda külünden çıkan sodyum oksit ve diğer yığın materyaller ile birleşmektedir. Aynı zamanda hidratlar, karbonatlar, nitratlar ve sülfatların bileşenlerine ayrılması sonucu büyük miktarda gaz kaçıış olmakta ve bunlar su, karbon dioksit, azot oksitleri ve sülfür oksitleri salmaktadır. Eritilen cam sonunda şeffaflaşır ve eritme safhası tamamlanır. Eri hacmi, gaz kayıplarının ve aradaki boşlukların yok olması nedeniyle el değmemiş yığın materyal hacminin yaklaşık % 35 – 50'sini oluşturmaktadır.

İnceltme ve Homojenleştirme

Erimiş camın ürünlere dönüştürülmeden önce tamamen homojenleşmiş ve kabarcıksız olması gerekmektedir. Bu durum tüm bileşenlerin tamamen çözünmesini ve hatta dağıtılmasını ve arıtma yöntemiyle tüm kabarcıkların yok edilmesini kapsamaktadır.

Eritme işlem süresince gaz kabarcıkları temelde karbonat materyallerinin (özellikle soda külü ve kireçtaşı) bileşenlerine ayrılması ile salınan karbon dioksitlerden ve daha az boyutta ham maddelerde sıkışmış havadan oluşmaktadır. Bu kabarcıklar mekanik güç ve görünümü etkileyerek bitmiş üründe bozukluklara neden olabileceğinden erimiş camdan yok edilmeleri gerekmektedir. Kabarcıkların yukarı doğru hareketleri optimal fiziksel özellikteki homojen bir materyal elde etmek için gerekli olan fiziksel karışıma katkıda bulunmaktadır. Kabarcıklar kendi boyutlarına ve camın akışkanlığına göre belirlenen hızlarda yükselmektedir. Geniş kabarcıklar hızla yükselmekte ve karışıma katkıda bulunmakta iken küçük kabarcıklar fırındaki daha geniş boyuttaki aktarım akımları bakımından küçük olabilecek hızlarda yavaş hareket etmekte ve böylece yok edilmeleri daha çok zorluk oluşturmaktadır. Bitmiş camda bulunan küçük kabarcıklar “tohumlar” olarak adlandırılmaktadır.

Karbon dioksit ve hava bileşenleri erimiş camda sınırlı çözünürlüğe sahiptir ve eritme işlemi ile oluşan küçük kabarcıkların etkili bir şekilde yok edilmesi için kimyasal inceltici öğelerin kullanımı genellikle gerekmektedir. Kimyasal inceltmenin genel kuralı erimde camda uygun çözünürlüğe sahip gazlar yayacak materyaller eklemektir. Cam eritmedeki (genellikle sıcaklığa dayalı) gazların çözünürlüğüne bağlı olarak, kabarcıklar boyut olarak artabilir ve yüzeye çıkabilir veya tamamen emilebilir.

Küçük kabarcıklar, kabarcıklarda ve camda bulunan gaz arasında daha iyi bir değişim sağlayan yoğunluk oranına yüksek bir yüzeye sahiptir.

Cam sanayindeki en sık kullanılan inceltici öge sodyum sülfattır. Yaklaşık 1450°C’de (indirgeyici ögeler varsa 1200°C’de) sodyum sülfat (cama eklenen) sodyum oksit, sülfürün gaz halindeki oksitleri ve oksijen vermek için bileşenlerine ayrılmaktadır. Oksijen kabarcıkları özellikle karbon dioksit ve hava gibi diğer gazlarla birleşir veya onları emer ve bu yolla boyut olarak artar ve yüzeye çıkar. Sülfürün gaz halindeki oksitleri cam içine emilir veya fırın atık gaz akıntısına karışır.

Düz cam ve cam kap ı üretiminde sodyum sülfat şuna kadar en genel inceltici ögedir. Sodyum sülfatın inceltici öge olarak üstünlüğü camdaki renklendirici maddelerin yükseltgenme indirgeme durumunu ayarlamak için bir oksitleme ögesi olarak kullanılması göreviyle paralel nedendedir. Aynı zamanda kütle üretilen cam için en az giderli etkili inceltici ögedir. Diğer inceltici ögeler karbon materyallerini ve arsenik ve antimon oksitlerini kapsamaktadır. Bunlar daha pahalıdır, bağlantılı çevresel ve sağlıkla ilgili problemlere sahiptir ve temelde özel cam üretiminde kullanılmaya uygundur. Sodyum nitrat da özellikle yüksek düzeyde oksitlemenin gerektiği durumlarda inceltici/oksitleyici öge olarak kullanılabilir. Kalsiyum sülfat ve çeşitli nitratlar bazen renkli düz cam için kullanılmaktadır.

Homojenleşmeye, tankın tabanındaki ekipmanlar ile buhar, oksijen, azot ve daha genel olarak hava kabarcıklarının eklenmesi ile katkıda bulunulabilir. Bu durum dolaşımı ve camın karışımını tetikler ve ısı aktarımını geliştirir. Bazı işlemler, örneğin optik cam, gerekli yüksek homojenlik derecesine ulaşmak için karıştırıcı mekanizmalar kullanabilir. Küçük fırınlarda kullanım için diğer teknikler (özellikle özel cam) düzleştirme olarak bilinmektedir; ve camın sıcaklığının artırılmasını kapsamaktadır ve böylece daha az yapışkan olur ve gaz karcıkları yüzeye daha kadar yükselebilir.

Cam fırınlarında karşılaşılan en yüksek taç sıcaklıkları: cam kap 1600°C, düz cam 1620°C, özel cam 1650°C, sürekli filament 1650°C’dir.

Kondisyonlama

Daha düşük sıcaklıklarda bir kondisyonlama safhası, birincil eritme ve inceltme devrelerini takip etmektedir. Bu işle boyunca, kalan tüm çözülebilir kabarcıklar eri içine tekrar emilmektedir. Aynı zamanda eri 900°C ve 1350°C arasında bir çalışma sıcaklığına kadar yavaşça soğumaktadır.

Yığın eritmede bu adımlar birbiri ardına gerçekleşmektedir ancak sürekli fırınlarda eritme safhaları eşzamanlı olarak tank içerisinde farklı yerlerde gerçekleşmektedir. Yığın tankın bir sonuna eklenir ve tankta ve birincil eritme, inceltme ve kondisyonlamanın yapıldığı foreheartha farklı bölgelere akar. Sürekli bir fırında arıtma işlemi daha fazla hassastır.

Cam, yığın besleyiciden işleme için çalışma sıcaklığına ulaştığı boğaza kadar tankta düz bir çizgide akmaz. Cam sonraki termal akımlara yönlendirilmektedir. Yığın küme, veya ham maddelerin soğuk karışımı sadece yüzeyde değil aynı zamanda erimiş cam banyosu ile alt taraftan da eritilmektedir. Oldukça soğuk, kabarcıklı cam yığın materyalin taban yüzeyin altında oluşmaktadır ve tankın tabanına batmaktadır. Uygun aktarım akımları, kabarcıkların kaçmak için sadece kısa bir mesafe yükselmek için gerek duyduğu ağırlıklı olarak erinin yüzeyinde inceltme gerçekleştiğinden, bu materyalleri yüzeye taşıması gerekmektedir. Termal akımların çok hızlı aktığı durumlarda bunlar hemen camı kondisyonlama bölgesine getirerek inceltmeyi engellemektedirler. Gündümlü duvarlar ve bentler ideal cam akıntı yolları oluşturmak için tankın iç kısmına yapılandırılabilir.

2.3 Eritme Teknikleri

[tm18 CPIV]

Bu kısım cam sanayisinde kullanılan en önemli eritme tekniklerini özetlemektedir. Taş yün ve cam hamuru sektörlerinde farklı teknikler kullanılmaktadır ve bu teknikler her bir sektörün özel kısımlarında ayrı ayrı tartışılmaktadır. Yukarıda bahsedildiği gibi, eritme tekniği seçimi birçok etkene bağlıdır ancak özellikle gereken kapasite, cam formülasyonu, yakıt fiyatları, mevcut altyapı ve çevresel performans önceliklidir. Örneğin, (kaçınılmaz olarak istisnai durumlara) genel bir rehber olarak:

- Geniş kapasiteli tesisler için (> 500 t/g) çapraz-ateşlemeli rejeneratif fırınlar neredeyse her zaman kullanılmaktadır.
- Orta kapasiteli tesisler için (100'den 500' kadar t/g) çapraz ateşli rejeneratif, reküperatif birim eriticileri ve bazı durumlarda oksijen-yakıt veya elektrikli eriticiler de duruma göre kullanılabilir olsa da yenileyici son port fırınlarından yardım alınmaktadır.
- Küçük kapasiteli tesisler için (25'ten 100'e t/g) reküperatif birim eriticileri ve rejeneratif son port fırınları, elektrikli eriticiler ve oksijen-yakıt eriticiler kullanılmaktadır.

Aşağıdaki tablo AB'de mevcut farklı fırın türlerinin tahminini ve her bir türün sayısını ve kapasitesini vermektedir.

Fırın türü	Birimlerin sayısı	Eritme kapasitesi (t/y)	Ortalama eritme kapasitesi (t/d)
Son ateşlemeli	265	13100000	135
Çapraz ateşlemeli	170	15300000	250
Elektrik	100	1100000	30
Oksijen	30	1200000	110
Diğerleri	335	4300000	35
Toplam	900	35000000	110

Tablo 2.3: 1997'de AB fırın türlerinin tahmini [tm18 CPIV]

Cam fırınları genellikle on iki yıla kadar sürekli bir süreç boyunca büyük miktarlarda cam üretimi için tasarlanmaktadır ve günde 20 tonluk camdan günde 600 tonluk cama kadar üretim miktarı bakımından değişiklik göstermektedir. Cam, uygun ateşe dayanıklı materyaller ve genellikle kemerli tavan veya taç ile kapatılmış tüm dikdörtgen şekil ile yapılmış bir tank içerisine alınmaktadır. Elektrikli fırınlar düz tavan ve yığın girişi için bir tarafı açık halde daha kare olmaktadır. Ateşe dayanıklı blokların dış çelik çerçeve ile konumları korunmaktadır. Kullanılan birçok fırın tasarımı bulunmaktadır ve bunlar genellikle ısıtma yöntemleri, kullanılan tutuşturma hava ön ısıtma sistemi ve yakıcı konumu bakımından ayırt edilmektedirler.

Cam yapımı çok fazla enerji hacmi gerektiren bir faaliyettir ve enerji kaynağı seçimi, ısıtma tekniği ve ısı iyileştirme yöntemi fırının tasarımında kilit noktaları oluşturmaktadır. Aynı seçimler de eritme işleminin çevresel performansı ve enerji etkililiğini etkileyen en önemli öğelerden bazılarıdır. Cam yapımı için üç ana enerji kaynağı; doğal gaz, fuel-oil ve elektriktir. Yüzyılın ilk yarısında çoğu cam üreticisi akkor sıcaklıklarda kömür ile hava ve suyun tepkimeleri ile elde edilen üretimi gazı kullanmışlardır.

Cam Sanayi'nde doğal gaz kullanımı yüksek saflık derecesi, kontrolünün kolaylığı ve depolama hizmeti gerektirmeme özelliği dolayısıyla artmaktadır. Gideri fazla olmasına rağmen sülfür dioksit emisyonunu azaltmak için günümüzde çoğu şirket gazı petrole tercih etmektedir.

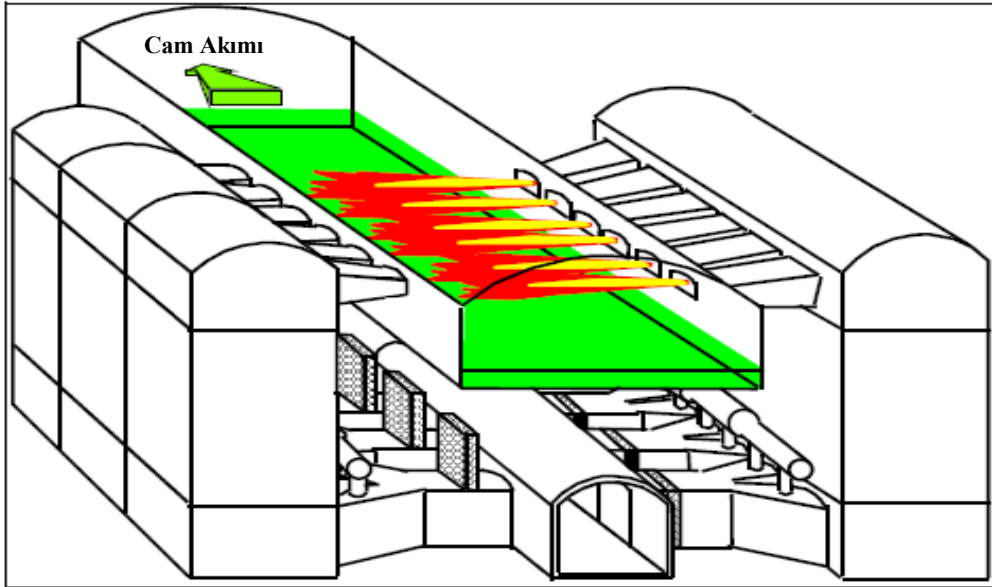
Son yıllarda cam yapımında en baskın yakıt fuel-oil olmuştur. Ağırından hafifine, çeşitli saflık düzeyi ve sülfür içeriğinde çeşitli cinsler mevcuttur. Sanayi genelinde akıllardaki düşünce, gaz alevlerine nazaran daha ısıtır olan petrol alevlerinin eriyeye daha iyi ısı aktarımı yapmakta olmasıdır. Sanayi, gaz ateşleme ile daha fazla deneyim geliştirmiş olduğundan, gaz ateşleme ile ulaşılan etkililik ve işletimsel kontrolün petrol ateşlemeninkine yaklaştığı düşünülmektedir.

Çoğu geniş fırın hem doğal gaz hem de fuel-oil ile çalışmak üzere donatılmıştır ve sadece brülörlerde basit bir değişim gerektirmektedir. çoğu durumda tedarik temasları; yakıt değişimi için hizmet gerektiren zirve talepleri süresince müdahale edilmeyen bir ortamda müzakere edilmektedir. Gaz ve fuele-oil arasındaki periyodik değişimin ana nedeni yakıtların büyük öneme sahip göreceli fiyatlarıdır. Isı gidisinin kontrolünü artırmak için, baskın olarak gaz ateşlemeli fırınlar için bir veya iki portunda petrol yakma işlemi genellikle uygulanmaktadır.

Cam yapımında üçüncü genel enerji kaynağı elektriktir. Elektrik ya tek başına bir enerji kaynağı ya da fosil yakıtlar ile birleştirilerek kullanılabilir, bu ileri kısımlarda daha ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Elektrik enerji sağlamak için üç temel yolla kullanılabilir: bir akımın erimiş camdan geçtiği dirençsel ısıtma, ısıtmanın çevredeki bir manyetik alandaki değişim ile işleme eylemi geçtiği indüksiyon ısıtma, ve ısıtma öğelerinin kullanımı. Dirençsel ısıtma Cam Sanayi'nde ticari uygulamada kabul görmüş ve bu belge kapsamında düşünülen tek tekniktir.

2.3.1 Rejeneratif fırınlar(Yenileyici Fırınlar) **[tm18 CPIV, tm1 UKDoE]**

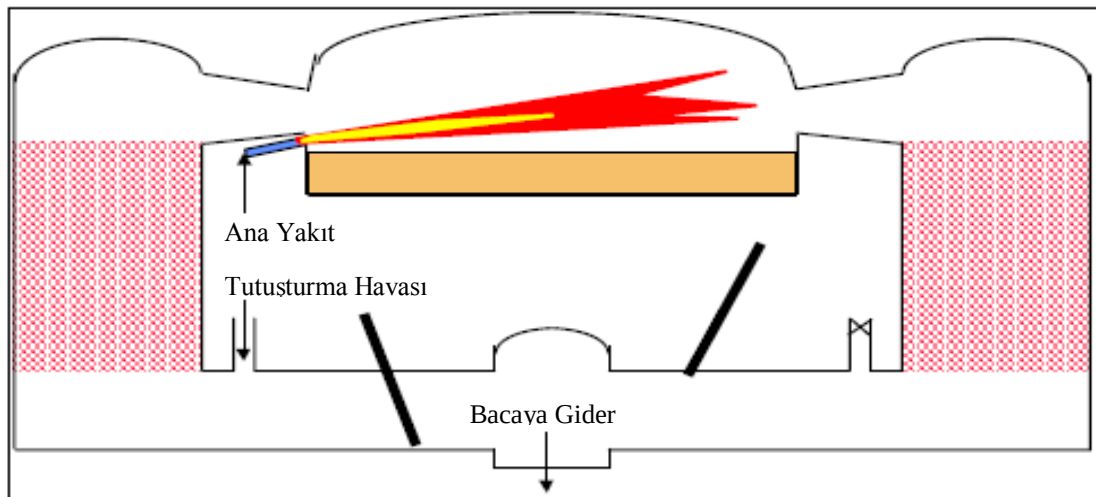
Yenileyici terimi ısı iyileştirme sisteminin şekline karşılık gelmektedir. Fosil yakıt ateşleyen brülörler genellikle tutuşma hava/atık gaz portlarının içinde veya dışında konumlanmaktadır. Atık gazlardaki ısı tutuşma öncesi havayı ön ısıtmak için kullanılmaktadır. Bu, atık gazların ısıyı emen ısıya dayanıklı materyal içeren bir odadan geçirilmesi ile ulaşılmaktadır. Fırın herhangi bir zamanda iki set brülörün sadece biri üzerinde yanmaktadır. Önceden belirlenmiş bir yöntem sonrası, genellikle yirmi dakika, fırının ateşleme çemberi döndürülür ve tutuşturma havası atık gazlarla önceden ısıtılmış odadan geçirilmektedir. Yenileyici bir fırın iki yenileyici odaya sahiptir, bir oda tutuşturma işleminden çıkan atık gazlarla ısıtılırken diğeri gelen tutuşturma havasını ön ısıtmaktadır. Çoğu cam kap işletmesi ya son-ateşlemeli ya da çapraz- ateşlemeli rejeneratif fırınlara sahiptir, ve tüm düz cam fırınları çapraz-ateşlemeli yenileyici tasarımdan elde edilmiştir. 1400 °C'e kadar ön ısı sıcaklıkları çok yüksek termal etkililiklere yol açmak adına kullanılabilir.



Şekil 2.1: Bir çapraz- ateşlemeli rejeneratif fırın

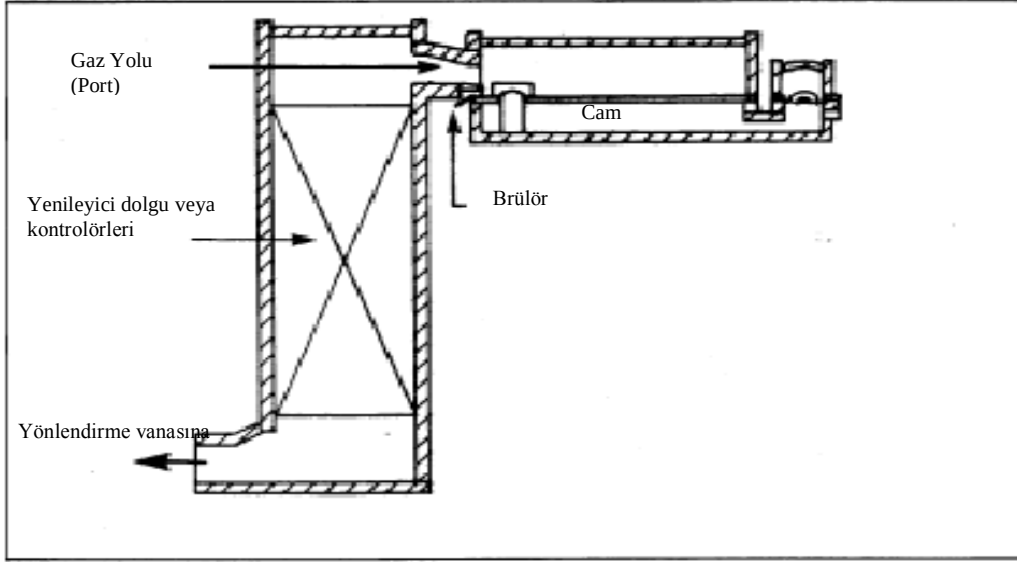
Çapraz ateşlemeli rejeneratif fırınlarda, tutuşma portları ve brülörler fırının kenarları boyunca konumlanmaktadır, yenileyici odalar fırının bir kenarına yerleştirilmekte ve port boyunları ile fırına bağlanmaktadır. Alev, erimiş materyal üzerinden doğrudan karşıt portlara geçmektedir. Kullanılan portların sayısı (8'e kadar) fırın ve özel tasarımının bir işlevi ve kapasitesidir. Bazı daha geniş fırınlar her bir brülör port için bölünen yenileyici odalara sahip olabilir.

Brülörlerin çeşitliliğini etkili olarak kullanan bu tür bir tasarım eri camdaki istenilen tutuşma akımını tetiklemek için gerekli olan fırın uzunluğunda sıcaklığın farklılaşmasını kolaylaştırır ve özellikle daha geniş tesislere uygundur.

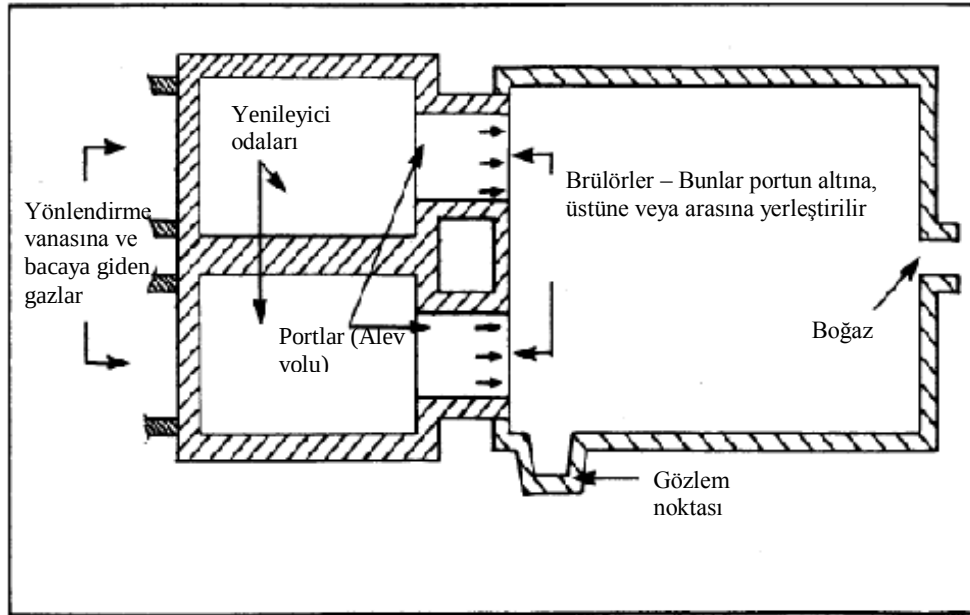


Şekil 2.2: Rejeneratif fırının çapraz bölümü

Son-ateşlemeli rejeneratif fırınlarda, işleme kuralları aynıdır, ancak iki yenileyici oda her biri tek bir porta sahiptir ve fırınların sonuna yerleştirilir. Alev yolu ikinci port ile bitişik yenileyici odaya dönerek bir U şekli halindedir. Bu düzenleme çapraz ateşlemeli tasarımdan bir yönde daha uygun maliyetli yenileyici sistem ortaya çıkarmaktadır ancak fırının sıcaklık profiline uyumluluk bakımından daha az esneklik göstermekte ve böylece daha geniş fırınlar için daha az tercih edilmektedir.



Şekil 2.3: Tek geçişli son ateşlemeli fırın



Şekil 2.4: Son ateşlemeli rejeneratif fırınların plan görünümü

2.3.2 Reküperatif fırınlar [tm18 CPIV]

Rekuperatör genellikle daha küçük fırınlar için kullanılan ısı tedavi sistemlerinin bir diğer genel şeklidir. Bu tür bir düzenlemede gelen soğuk hava dolaylı olarak bir metal (veya çok nadir seramik) ısı değiştiricisi ile atık gazın sürekli akışı ile ön ısıtılmaktadır. Hava ön ısıtma sıcaklığı metal rekuperatörler için yaklaşık 800°C ile sınırlıdır ve bu sistem ile iyileşen ısı böylece rejeneratif fırınlarınkinden daha düşük olur.

Daha düşük direk enerji etkililiği ya ham maddelerin ön ısıtması için ya da su buharı oluşumu için atık gazlara ek ısı tedavi sistemleri ile telafi edilebilir. Ancak, bir sonuçta Cam Sanayi'ndeki reküperatif fırınların özel eritme kapasitesinin bir rejeneratif fırınının 3.2 ton/m²/gün olması ile karşılaştırıldığında 2 ton/m²/gün olmasıdır. Bu eritme kapasitesinin eksikliği elektrik takviyesinin kullanılması ile kısmen telafi edilebilir.

Aslında birim eriticileri (veya direk ateşlemeli) fırınları reküperatif ile donatılmasına önceden gerek görülmesi de bu şimdi tek başına durumu belirlemekte ve birim eriticileri terimi reküperatif fırınlarla eşanlamlı kullanılmaya başlanmıştır. Brülörler fırının her bir kenarı boyunca cam akışının enine yerleştirilmektedir ve her iki kenardan sürekli yanmaktadır. Bu durum son ateşlemeli fırınlardan daha iyi kontrol ve daha sabit sıcaklık sağlamaktadır. Brülörlerin fırın boyunca bir ısı oluşturmaları için kontrol edilmesi ile meydana gelen tutuşturucu akımlar sıcak yanma gazlarını yığın yüzey üzerinden çeker ve fırının yukarı akım ucundaki dış atım portuna yönlendirir.

Bu tür bir fırın ana olarak en az iç sermaye gideri ile işletimlerin yüksek esnekliğine gerek duyulan ve özellikle işletim boyutunun yenileyicileri ekonomik olarak uygun hale getirmek için çok küçük olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Daha yüksek kapasiteli fırınlar (günde 400 tona kadar) genel olsa da bu tür bir fırın küçük kapasiteli tesisler için daha uygundur.

2.3.3 Oksi-yakıt Eritme

Bu teknik tutuşturma havasının oksijen ile yer değiştirmesini kapsamaktadır (>% 90 saflık). Yanma atmosferinden çıkan nitrojenin çoğunun yok edilmesi üçte ikilik oranda neredeyse tamamını karbon dioksit ve su buharının oluşturduğu atık gaz hacmini azaltmaktadır. Bu nedenle atmosferik nitrojenin alevlerin sıcaklığına getirilmesi adına ısıtılması gerekli olmadığından enerji tasarrufu mümkündür. Termal NO_x'in oluşumu büyük ölçüde azaltılmaktadır çünkü yanma atmosferinde mevcut tek azot oksijendeki artık nitrojen, yakıttaki nitrojen, nitrat kırılması sonucu oluşan azot ve herhangi bir mikroplu havadan çıkanlardır.

Genelde, oksi-yakıt fırınları çoklu yanal brülörler ve tek bir dış atım portuna sahip birim eriticileri olarak aynı temel tasarıma sahiptir. Ancak, oksijen yanması için tasarlanmış fırınlar brülörlere oksijen tedarikinin ön ısıtılması için ısı tedavi sistemlerini kullanmamaktadır.

Oksi-yakıt fırınlarının ilkesi özellikle cam hamurları sektöründe iyi saptanmıştır. Teknik hala cam sanayisindeki bazı sektörler tarafından yüksek mali risk taşıyabilen gelişmekte olan teknoloji olarak düşünülmektedir. Ancak, önemli ölçüdeki geliştirme çalışması gerçekleştirilmekte ve teknik tesislerin sayısı arttıkça daha fazla kabul görmektedir. Bu teknik daha detaylı olarak Bölüm 4'te tartışılmaktadır.

2.3.4 Elektrikli Eritme

[tm18 CPIV, tm8 S2 3.03, tm1 UKDoE]

Elektrikli bir fırın elektrotların ya kenardan, tepeden, ya da daha sıkça rastlanan fırının tabanından sokulduğu, çelik çerçeve ile desteklenen, ateşe dayanıklı bir çizgili kutudan oluşmaktadır. Eritme için enerji akımının erimiş camdan geçtiğinde dirençsel ısıtma ile sağlanmaktadır. Ancak, her kampanya başlangıcında fırının eyleme geçirildiği zaman fosil yakıtların kullanılması gereklidir. Fırın sürekli işletilir ve 2 ile 7 yıl arası kullanım ömrüne sahiptir. Erimiş camın en üst kısmı tabandan yukarı doğru derece derece eriyen ve böylece soğuk üst eriticisine ulaşan bir yığın materyal tabakası ile kaplanmaktadır. Taze yığın materyal genellikle tüm yüzeyde hareket eden bir konveyör sistem ile ocağın üst düzeyine eklenir. Çoğu elektrikli fırınlar torba fitler sistemleri ile uyum göstermektedir ve toplanan materyal eriticiye geri dönüştürülür.

Teknik genelde, özellikle özel cam için, küçük fırınlarda uygulanmaktadır. Bunun en önemli nedeni fosil yakıt ateşlemeli fırınların termal etkililiğinin fırın boyutu ile birlikte düşüş göstermesidir ve eritimin her tonundaki ısı kayıpları oldukça yüksek olabilir. Elektrikli fırınlardan kaynaklı ısı kayıpları karşılaştırma yapıldığında çok daha düşüktür ve daha geniş fırınlara nazaran daha küçük fırınlar için elektrikle ve fosil yakıt ile ısıtması arasındaki eritme farkı giderleri, bu nedenle, daha azdır. Küçük fırınlar için elektrikli eritmenin diğer avantajları; daha düşük inşaa giderleri, işletimin karşılaştırmalı kolaylığı ve daha iyi çevresel performanstır.

Fosil yakıtlara nazaran önemli elektrik giderleri ile yakın bağlantılı, elektrik fırınlarının ekonomik uygunluğuna dair üstün gelen boyut sınırı vardır. Elektrikli fırınlar genellikle fırının her metre karesi başına daha yüksek eri oranlarına ulaşabilir ve elektrik fırınlarının termal etkililiği fosil yakıt ateşlemeli fırınlara göre üçte iki daha yüksektir. Ancak, daha geniş fırınlar için bu durum genellikle daha yüksek elektrik giderlerini telafi etmek için yetersiz kalmaktadır.

Elektrikle eritmedeki tutuşturma eksikliği, düşük partikül taşınması ve herhangi bir ikincil azaltma ekipmanı ile indirgenen atık gaz yoğunluklarının çok düşük olması anlamına gelmektedir. Uçucu yığın bileşenlerin emisyonu; indirgenmiş gaz akışı, yığın örtüdeki gaz halindeki emisyonların soğurması ve tepkimesi sebebiyle geleneksel fırınlardan önemli ölçüde daha düşüktür. Ana gaz bazlı emisyon karbon bazlı yığın materyallerden salınan karbon dioksittir.

Fırın fosil yakıtların tamamen yer değiştirmesi tutuşma ürünlerini (sülfür dioksit, termal NOx ve karbon dioksit) yok etmektedir. Ancak, küresel yaklaşım açısından bakılacak olunursa, bu faydalar güç oluşum tesislerinde yükselen salımlara ve güç oluşumu ve dağıtımının etkililiğine karşı olarak düşünülmektedir.

Elektrikle eritmedeki bir komplikasyon yığında sodyum nitrat ve potasyum nitrat kullanılmasıdır. Cam sanayisinin genel görüşü soğuk-üst bölüm elektrikli fırınlar için sabit, güvenli ve etkili bir imalat işlemi için gerekli oksitleme şartlarını sağlamak için nitratin gerekli olmasına dayanır. Nitratla ilgili problem nitratin azot oksitleri yaymak için fırında ancak geleneksel fosil yakıt ateşlemesi ile ilgili düzeylerden daha düşük düzeyde ayrışmasıdır.

2.3.5 Kombine Fosil Yakıt ve Elektrikle Eritme [tm18 CPIV, tm8 S2 3.03]

Bu tekniğin kullanımında iki yaklaşım bulunmaktadır: elektrik takviyesi ile baskın olarak fosil yakıt ateşlemesi veya fosil yakıt desteği ile baskın olarak elektrikle ısıtma. Şüphesiz, ısı girdisinin her bir türünün oranı her bir teknikte farklılık gösterebilir.

Elektrik takviyesi tankın tabanındaki elektrotlar ile bir elektrik akımını geçerek bir cam fırınına ekstra ısının eklenme yöntemidir. Teknik, Cam Sanayi'nde fosil yakıt ateşlemeli fırınlarda genellikle kullanılmaktadır. Geleneksel olarak, bu teknik, daha geniş bir fırının sabit işletilme giderlerini oluşturmadan talep edilen periyodik değişimlerin karşılanması için bir fosil yakıt ateşlemeli fırının üretim oranını yükseltmek için kullanılmaktadır. Teknik bir fırın işlerken kurulabilir ve işletim ömrünün sonuna yaklaşan bir fırının tırmanış oranına katkıda bulunmak veya mevcut fırının kapasitesini artırmak için de sıklıkla kullanılmaktadır.

Elektrik takviyesi aynı zamanda verilen bir cam tırmanış oranı için yanma için elektrikle ısıtma işlemi kullanılarak fırının çevresel performansını geliştirmek için kullanılmaktadır. Genellikle toplam enerji girdisinin % 5'ten % 20'sine kadar bir yüzde, daha yüksek rakamlara ulaşma ihtimaline rağmen, elektrik takviyesi ile ulaşılabılır. Ancak, yüksek bir düzeyde elektrik takviyesi, bağlantılı yüksek işletme giderleri dolayısıyla temel düzey üretimi için uzun vadeli bir seçenek olarak kullanılmamaktadır. Çeşitli düzeylerdeki elektrik takviyesi, yeşil ve amber camdaki düşük ısınır ısı aktarımı dolayısıyla renkli camda sıklıkla kullanılmaktadır.

Daha az genellikte bir teknik ise özellikle elektrik ile ısıtılan bir fırın için gaz ve petrolün bir destek yakıt olarak kullanılmasıdır. Bu teknik temelde materyallere ısı eklemek ve erimeye yardımcı olmak için yığın materyalin yüzeyi üzerinde alevlerin yakılmasını kapsamaktadır. Teknik bazen üst-ateşleme olarak adlandırılmakta ve % 100 elektrik ile yapılan eritme işleminde karşılaşılan işletimsel zorlukların bazılarının üstesinden gelmek için sıklıkla kullanılmaktadır. Teknik, tutuşmasız soğuk üst eritme ile bağlantılı çevresel faydaların bazılarını azaltmaktadır.

2.3.6 Süreksiz Yığın Eritme [tm21 Schott]

Daha küçük miktarlarda camın gerekli olduğu durumlarda, özellikle cam formülasyonları düzenli olarak değişmekteyse, sürekli bir fırının işletilmesi ekonomik olarak uygun olmayabilir. Bu tarz durumlarda, kap fırınlar veya gün tankları ham maddenin belli bir yığını eritmek için kullanılmaktadır. Bu tür cam işlemlerinin çoğu IPPC'nin kontrolü altında değildir çünkü bunlar günlük 20 tonluk eritme kapasitesi altında olabilmektedirler. Ancak, bu düzeyin üstünde kapasitelerin bulunduğu, özellikle birden fazla işletimin aynı tesiste gerçekleştirildiği evsel camda ve özel camda bunun birçok örneği mevcuttur.

Bir kap fırını genellikle iç duvarlar için ateşe dayanıklı tuğla, kemerli taç kısmı için silis tuğla ve dış duvarlar için yalıtıcı tuğladan oluşmaktadır. Temel olarak, kap fırını; tutuşma havasını ön ısıtma işlemi için daha düşük bir kısmı (ya bir rejeneratif ya da bir reküperatif sistem) ve kapları tutan ve eritici oda hizmeti gören bir üst kısmı kapsamaktadır. Üst kısım, farklı türdeki camların eritilebileceği ateşe dayanıklı altıdan on iki taneye kadar kil kaplarını tutmaktadır.

Açık kap ve kapalı kap olmak üzere iki çeşit kap vardır. Açık kapların üst kapakları yoktur ve cam fırının atmosferine açıktır. Kapalı kaplar kaplıdır ve tek açıklığı toplama deliğidir. Açık kaplarda sıcaklık ayarlı fırın ateşlemesi ile kontrol edilmektedir, kapalı kaplarda ateşleme sabit oranda gerçekleşir ve sıcaklık, genellikle toplama deliğinin açılması ve kapanması ile kontrol edilir. Her bir kabın kapasitesi 100 kg'dan 500 kg'a kadar değişmektedir ve sürekli işletimde kullanım ömrü 2 ile 3 yıl arasındadır.

Fırın her gün 24 saat ısıtılmaktadır ancak sıcaklık(kapalı kaplar için cam sıcaklığı), üretim çizgisinin evresine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Genellikle öğleden sonra yığın kaplara yüklenir ve eritilir ve bir sonraki sabah için camın işlenebilir olabilmesi için sıcaklık geceleyin erinin artırılması için artırılır. Eritme süresince sıcaklık cam türüne bağlı olarak 1300°C ve 1600°C'ye tırmanmaktadır ve camın taşınması ve işlenmesi süresince fırın sıcaklığı 900°C'ten 1200°C'ye varan bir dizide tutulmaktadır.

Gün tankları, günlük 10 tonluk bir bölgede daha geniş kapasitelere ulaştırılması için kap fırınlardan daha fazla geliştirilmektedir. Yapısal olarak bunlar, geleneksel bir fırının dörtgenine çok benzemektedir ancak hala her gün yığın ile tekrar doldurulmaktadır. Eritme genellikle gece yapılır ve bir gün sonra cam üretime sürecine girer. Bu tanklar kısa bir sürelik eritilecek cam türünde değişikliğin yolunu açar ve ana olarak renkli cam, kristal cam ve yumuşak özel camlarda kullanılmaktadır.

2.3.7 Özel Eritici Tasarımları [SORG LoNOx, SORG Flex]

NOx emisyonlarını sınırlamak için gösterilen dikkat, bazı fırın tasarımcılarının daha düşük alev sıcaklıklarının kullanımının önünü açmaya yönelik çeşitli özellikleri bütünleştiren birim eritici türü fırınlar önermelerine sebep olmuştur. Bu tür bir fırın en iyi örnek Sorg LoNOx eriticisidir.

Sorg LoNOx eriticisi indirgenmiş NOx düzeylerine ulaşmak için sıg banyo arındırması ve ham madde ön ısıtımının birleşimidir ve büyük olasılıkla indirgenmiş termal performansla zarar getirmez. Sıg banyo artıcısı cam banyosunun yakınındaki önemli akım yolunu zorlar ve bu yolla kendisi ve fırın üst yapısı arasındaki sıcaklık diferansiyelini azaltır.

Fırın, benzer diğer geleneksel fırın nazaran daha düşük sıcaklıklarda işletilebilir. Bu teknik Bölüm 4'te daha detaylı tanımlanmaktadır.

Bir diğer fırın tasarımı ise temelde kap fırınlarına ve gün tanklarına alternatif olarak piyasaya sunulan Sorg Flex Eriticisi'dir. Bu fırın elektrik ve doğal gaz birleşimini kullanır ve bu da düşük işletme sıcaklıkları ve düşük enerji sarfıyatı ile kompakt bir fırın olma özelliği taşıması ile sonuçlanır. Fırın bir boğazla birbirine bağlanan eritme ve arıtma kısımlarına sahiptir. Arıtma kısmı daha derin bir bölgeyi izleyen sığ bir banktan oluşmaktadır. Eritme kısmı elektrik ile arıtma kısmı ise gaz ile ısıtılmaktadır ancak girişe elektrotlar da eklenebilir. Arıtma kısmından çıkan atık gazlar yığın üzerinden eritme alanından geçerler. Çok sayıda kemer fırının daha sıcak bölümlerinden gelen radyasyonun bir bölümü yığına aktarılmaktadır.

Eritme ve arıtma kısımlarının ayrımı fırın esnekliğinin temelini oluşturmaktadır. Sabit periyodlarla sıcaklıklar düşürülür ve arıtmadan kaynaklı uçuculuk azaltılır. Hiç bir kanala gerek duyulmaz ve düşük cam hacmi sebebiyle normal işletim sıcaklığı hızlıca tekrar ayarlanır. Düşük yoğunluk aynı zamanda daha hızlı bileşim değişikliklerine yardımcı bulunur.

2.4 Cam kap [tm18 CPIV, tm1 UKDoE]

Bu kısım soda-kirece dayalı paketleme camın ve tam otomatik işlemlerle değiştirilmiş soda-kireç formülasyonlarının üretimi ile ilgilidir. Diğer ürünlerin imalatı, Ev İçi ve Özel Cam Sektörleri kapsamındadır. Tipik cam kap bileşimi Tablo 2.4'te verilmektedir. Sektörde çeşitliliği sebebiyle Kısım 2.3'te tanımlanan neredeyse tüm eritme teknikleri cam kap üretiminde bulunmaktadır.

Bileşen	Yüzdesi
Silikon Oksit (SiO ₂)	71 - 73
Sodyum Oksit (Na ₂ O)	12 - 14
Kalsiyum Oksit (CaO)	9 - 12
Magnezyum Oksit (MgO)	0.2 - 3.5
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	1-3
Potasyum Oksit (K ₂ O)	0.3 -1.5
Sülfür trioksit (SO ₃)	0.05 - 0.3
Renk değiştiriciler v.b.	İzler

Tablo2.4: Tipik cam kap bileşimi

Cam kapları baskı ve üfleme teknikleri kullanılarak iki aşamalı kalıplama sürecinde üretilmektedir. Otomatik şişe üretiminde beş gerekli safha vardır.

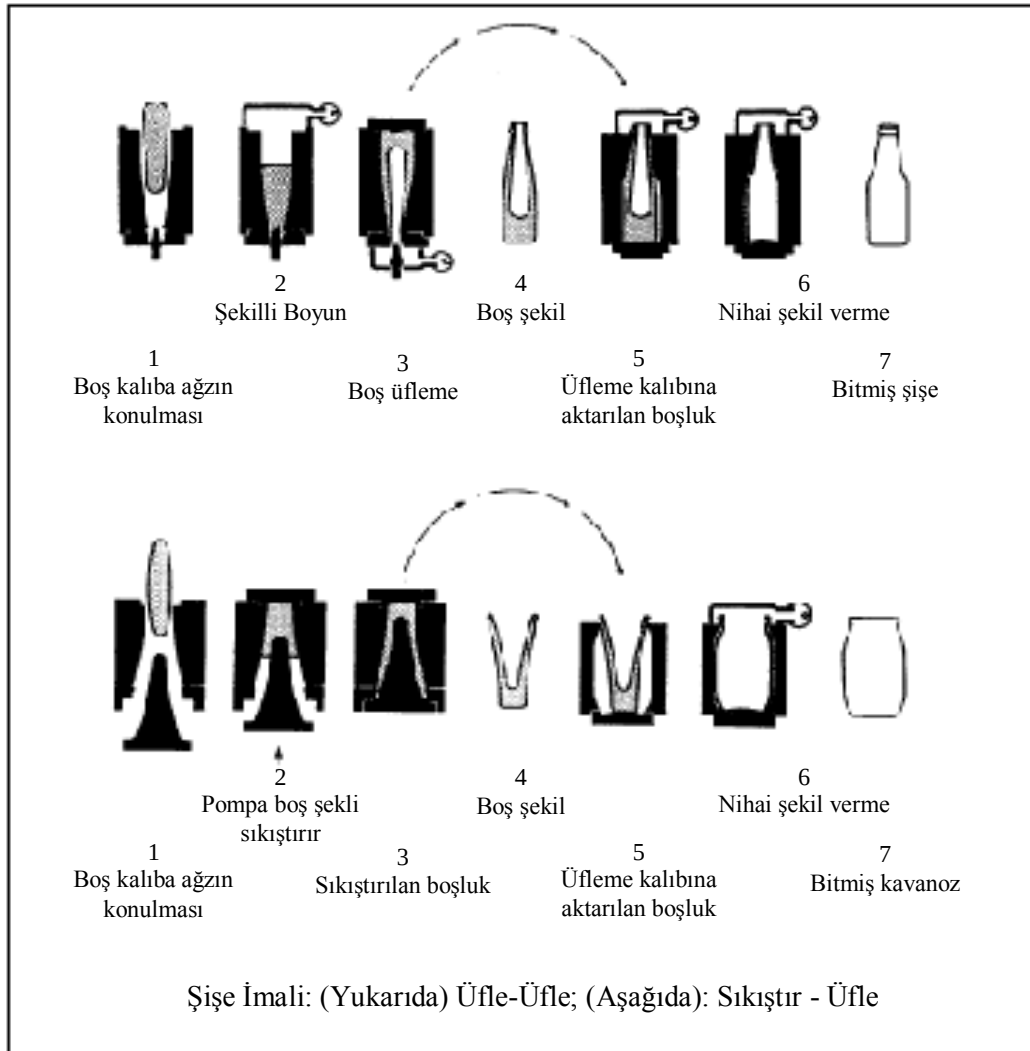
1. Doğru ağırlık ve sıcaklıkta bir parça erimiş cam (gob) elde etmek.
2. Sıkıştırılmış hava veya metal bir pistondan gelen baskı ile ana şekli ilk kalıpta (boş kalıp) oluşturmak .
3. Ana şekli (parison) son kalıba (bitmiş kalıp) aktarmak.
4. Kabı sıkıştırılmış hava ile son kalıbın şekline üfleme ile şekillendirme sürecini tamamlamak.
5. Tamamlanmış ürünü sonraki oluşturma süreçlerine taşımak.

Erimiş cam bir forehearth boyunca fırına en sonunda da bir toplama çanağına (fiskiye) akar. Toplama çanağının tabanından birden dörde kadar paralel cam akışı uygun boyutlu deliklerden gerçekleşir. Mekanik piston sistemleri ile kalıplanan bu cam akışları ilk, sosis şeklinde, cam “parçalar” halini almak üzere bir makaslama mekanizması ile tam uzunluklarına kesilir.

Parçaları oluşturmak için tüm sistem besleyici mekanizma olarak adlandırılır. Parçalar şekillendirme makinesinde paralel kalıplarda eşzamanlı şekillendirilmek için paralel cam akıntılarında eş zamanlı kesilir. Bunlar; tek, çift, küp veya daha küçük kapların yüksek yoğunlukta üretimine uyumlu olan üssü dört parça makineleri olarak adlandırılır. Çift parça en genel olanıdır. Cam kap fırınları her biri atanmış bir forehearth aracılığıyla bu tarz iki veya daha fazla şekillendirme makinesi beslemektedir.

Su ve çözünabilir yağ karışımı makaslara, onların fazla ısınmalarını ve camın üzerilerine yapışmamasını sağlamak için püskürtülür. Besleyici mekanizmadan parçalar şekillendirme makinesi üzerinde bir oluk sistemi ile boş kalıplar içine yönlendirilir.

Şekillendirme süreci Şekil 2.5'te gösterildiği gibi iki aşamada gerçekleşmektedir. Boşluğun ilk şekillenmesi kabın türüne göre ya bir piston ile baskı ya da sıkıştırılmış hava ile üfleme ile yapılabilir. En son şekillendirme işlemi her zaman bitmiş oyuk şeklini elde etmek için üfleme ile yapılır. Bu iki işlem bu nedenle sırasıyla “bas ve üfle” ve “üfle ve üfle” olarak adlandırılır. Şekillenmiş kaplar sürekli bir konveyörde daha sonraki şekillendirme üretim aşamaları için sunulmaktadır. Bas ve üfle şekillendirmesi özellikle kavanoz üretimi için uygundur ancak aynı zamanda hafif şişelerin üretiminde de geniş olarak kullanılmaktadır. Üfle ve üfle şekillendirmesi daha çok yönlüdür ve standart ağırlıktaki şişeler ve daha karmaşık şekillerin üretiminde tercih edilmektedir. İki ana şekillendirme işleminin basitleştirilmiş çizimleri Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5: Bas ve üfle şekillendirme ve üfle ve üfle şekillendirme işlemleri

Şekillendirme işlemi süresince cam sıcaklığı konveyör tarafından alındığında kapların yeteri kadar katılaşmış olmasını sağlamak için 600°C'a kadar düşürülmektedir. Isının çıkarılması kalıplar karşısına ve içerisine üflenerek yüksek yoğunluktaki hava ile sağlanmaktadır. Camın kalıplara yapışmasını engellemek için çeşitli yüksek sıcaklıktaki grafit bazlı yayım öğeleri elle veya otomatik olarak özel kalıp bölümlerine ("temizleme") uygulanır. Kalıplar düzenli temizleme ve bakım gerektirmektedir.

Forehearth'tan gelen cam akışı, şekillendirme işlemine gönderilen camın gerekli sıcaklık dengesini, akışkanlığı ve homojenliği sabit tutulmalıdır. Şekillendirme işlemi kısımların birinde kesintiye uğrarsa, sıcak cam parçaları, su ile soğutuldukları taban kata oluklar ile yönlendirilir, parçalanır ve işlem cam kırıntıları olarak geri dönüşümü kabul etmeyen diğer ürünler ile yığın deposuna geri götürülürler.

İlk otomatik makineler döndürmeli tasarıma sahipti ve tabak çanak için şekillendirme makineleri hala bu ilkeyi uygulasa da kap üretimi, IS (Individual Section- Özel Kısım) makinelerinde neredeyse tek başına daha fazla esneklik sunmaktadır. IS makinesi yan yana toplanmış çok sayıda özel kap yapma ünitesinden (kısımdan) oluşmaktadır. Her kısım paralel şekillendirilecek parçaların sayısı ile uyum gösteren kalıp oyuklarına sahiptir. Parçalar bir kepçe veya oluk sistemleri yoluyla farklı kısımlara sırayla dağıtılırlar (parça dağıtıcısı veya teslim edicisi). IS makineleri sunulan piyasanın hacmine ve türüne bağlı olarak 6'dan 20'ye kadar kısımdan oluşmaktadır. IS makinelerinin en büyük avantajlarından biri ayarlamalar veya kalıp bölümlerinin yer değiştirmesi için kısımların bir birinden bağımsız olarak durdurulabilme imkanını sunabilmesidir.

Otomatik kap imalatı herhangi bir boyutta, şekilde ve renkte şişeler üretmek için kullanılabilir. Şekil ne kadar basit olursa üretim oranı o kadar hızlı olmaktadır; yuvarlak hafif bira şişeleri 750/dakika'ya kadar oranda üretilmektedir (IS 12 kısmında, üssü dört parça makineleri).

Dış yüzeyde kapların hızlı soğutulması camda yüksek diferansiyel baskı ve bununla birlikte kırılma oluşturmaktadır. Bunların ortadan kaldırılması için dış yüzeydeki kaplar 550°C'e kadar tekrar ısıtılıp daha sonra oluşabilecek daha fazla baskının önlenmesi için kontrollü şartlar altında soğutuldukları sürekli bir tavlama fırınından (sanayi tipi fırın) geçirilir. Fırınlarda gaz veya elektrik ile ısıtılır ancak işletim sıcaklığına getirildiklerinde gelen kaplardan çıkan ısı ısıtma enerjisinin büyük bir çoğunluğunu sağlamaktadır. Yeteri kadar soğutulduklarında tüm kaplar tahammülsüzlük ve diğer kalite kaygıları için otomatik ret işlemi ile otomatik olarak gözlenmektedirler.

Üretimin bütün etkililiği "paket-eri" oranı olarak ölçülmektedir, örn. fırında eritilen camın bir yüzdesi olarak (nakliyat için) paketlenen kapların tonajı. Yemek ve içki alanında kap üreten tesisler genellikle %85 ile %94 arasında paket-eri oranına ulaşmaktadır. Daha yüksek değerde olan parfüm ve ilaçlarla ilgili ürünler daha sıkı kontrollere maruz kalmaktadır ve bunların paket-eri oranı ortalama % 70 civarındadır.

Ürünlerin performansını geliştirmek için yüzeyin kaplanması ya parçacıkların 500°C sıcaklıkta olduğu ("sıcak sonlu kaplama") şekillendirme işleminden hemen sonra ya da tavlama ("soğuk sonlu kaplama") işlemi sonrasında uygulanabilir. Uygulamalı olarak her zaman sıcak ve soğuk sonlu işlemlerin birleşimi de kullanılmaktadır.

Cam kaplar çeşitli inceleme, paketlenme, paketten çıkarma, doldurma ve tekrar paketlenme sistemleri ile yürütülmektedir. Kaplar arasında oluşabilecek hasarın engellenmesi ve rehber sistemlere hasarsız olarak kaydırılmalarını sağlamak için ürüne tavlama fırınının soğuk sonunda yağlama işlemleri uygulanabilir. Kullanılan materyaller seyreltik sulu süspansiyonlar püskürtülmesi veya su buharı ile temas işlemi uygulanan gıda güvenli oleik asit ve polietilen bazlı ürünlerdir. Bu işlemler genelde önemli çevresel emisyonlara yükseliş kazandırmazlar.

Sıcak yüzey kaplamaları, genellikle tin oksit veya titanyum oksitin çok ince kaplaması cam kaplara şekillendirme makinesinden çıktıktan hemen sonra uygulanabilir.

Sıradaki soğuk yüzey kaplamasının yağlanması ile birleştirilir ve bu, sıradaki boşaltma işleminde cam yüzeyinde oluşabilecek hasarı engellemektedir. Metal oksit kaplama cam yüzeyindeki organik moleküllerin yağlanmasını korumak için bir alttaş görevi görmektedir. Sıcak sonlu işlem de mekanik dayanıklılığı geliştirmektedir.

İşlemlerin kendileri görünmez olmalıdır ve bu nedenle aşırı incedirler. Sıcak sonlu bir işlemin kalınlığı genellikle < 0.01 (im'dir. Tamamen aynı kaplama kalınlığı elde etmek için işlem en sık olarak tin ve titanyumun susuz klorürleri veya belli organo-metalik bileşenler kullanılarak kimyasal buhar bırakma (CVD) işlemi ile yapılmaktadır. Sprey uygulaması da kullanılmaktadır. Kullanılan materyal miktarı üretim hızına göre üretim çizgisi başına 2'den 10 kg/gün'e kadar oran baz alındığında her durumda düşüktür

İmal edildiklerinde kap camlar belli durumlarda tüketiciye ulaştırılmadan dekorasyon ve kimlik eklemek adına ikincil bir süreçten geçmektedir. Bu durum baskıya duyarlı veya ısı çekmiş etiket veya ısı uygulanmış seramik dekorasyon şeklini almaktadır.

2.5 Düz Cam

[tm18 CPIV]

Düz cam terimi imalat şekli ne olursa olsun düz şekilde yapılan tüm camları kapsamaktadır. Ancak, bu belgenin amacı doğrultusunda, bu terim float cam ve yuvarlak cam üretimi için kullanılmaktadır. Ticari olarak üretilmiş diğer düz camlar ya Özel Cam Sektörü'nde (örn. seramik ocak yanı çıkıntıları) ele alınmıştır ya da üretimin boyutu Diraktifi 96/6/1/EC'de belirlenen 20 ton/gün'den düşüktür. İnşaat ve otomotive uygulamaları için büyük miktarlarda düz cam üretiminin diğer yöntemleri Avrupa Birliği için artık kullanılmaz olarak görülmektedir. Bu ürünler tabaka cam ve tabak cam olarak atfedilmekte ve Bölüm 1'de özetle tartışılmaktadır. Çoğu düz cam temel soda kireç formülasyonları ile üretilmektedir, tipik bir float cam bileşimi Tablo 2.5'te verilmektedir. Float cam ve yuvarlak cam neredeyse tek başlarına çapraz ateşlemeli rejeneratif fırınlarda üretilmektedir.

Bileşen	Yüzde
Silikon oksit (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
Sülfür trioksit (SO_3)	0.17
Küçük materyaller (renk değiştiriciler ve ham maddeden gelen tesadüfi atık)	İzler

Tablo 2.5: Tipik düz cam bileşimi

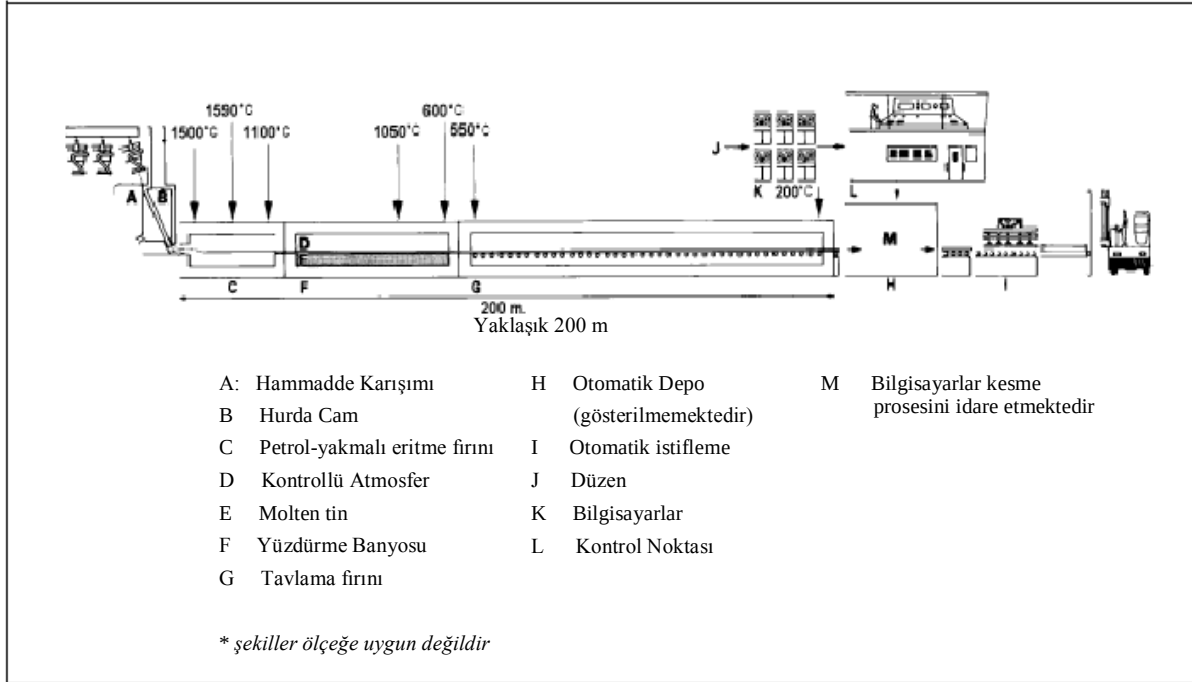
2.5.1 Float Cam İşlemi

Float işleminin temel kuralı erimiş camı erimiş tin küvetine dökülmesi ve yerçekimi ve yüzey geriliminin etkisi altında paralel olan üst ve alt yüzeyler ile bir şerit oluşturmaktır.

Float tank (veya küveti) çelik çerçeve ile desteklenen ve erimiş tin içeren ateşe dayanıklı bloklarla çevrelenmiş çelik bir kaplamadan oluşmaktadır. Float tank yaklaşık 55m ve 60m uzunluğunda, 4m ve 10m genişliğindedir ve 15 ile 20 arası sayıda koya bölünmüştür. Tank hava sızdırmaz özelliktedir ve azot ve hidrojen karışımı ilave edilerek hafif azaltıcı atmosfer sağlanmaktadır.

Bu, cam ve teneke arasındaki önemli temas yüzeyine zarar verecek olan, teneke yüzeyinin oksitlenmesini engellemek için gereklidir. Erimiş teneke, küvet sıvısı olarak kullanılmaktadır çünkü bu eri gereken sıcaklık düzeyi üzerinde önemli bir buhar baskısı olmadan sıvı kalan tek maddedir.

Erimiş cam fırından tam cam sıcaklığının korunması için ısıtılabilen ısıya dayanıklı kanal boyunca akar. Kanalin sonunda cam doğru cam yayılımını sağlayan ısıya dayanıklı uç (“fiskiye”) ile teneke banyosunun üzerine dökülür. Cam akışı kanaldaki ayarlanabilir askıdaki ısıya dayanıklı kapayıcı yoluyla (ön “tuval”) kontrol edilmektedir. Cam teneke ile ilk teması olduğunda küvet çıkışında metalin sıcaklığı yaklaşık 1000°C’de, soğukluğu yaklaşık 600°C’dedir. Küvetin yüzeyinden geçtikçe cam tek bir kalınlık geliştirmekte ve erimiş tenekenin neredeyse mükemmel düzlüğüne ulaşmaktadır.



Şekil 2.6: Float Cam İşlemi

Float tankın içinde yön, uzunluk, sızma ve açı bakımından ayarlanabilir birçok çift su-soğutmalı üst silindir bulunmaktadır. Bu silindirler cam tabakayı her bir köşeden dişlilerle yakalar ve enine ve boyuna çeker. Cam akışının oranı ve silindirlerin devir hızları camın kalınlığının ayarlanmasına yardımcı olur, tipik olarak 1.5 mm’den 19 mm’e. Cam, teneke yüzeyinde en yüksek doğal bir kalınlığa sahiptir ve grafit bariyerler daha kalın camlar üretmek için kullanılabilir.

Float küvetin çıkışında cam şerit, silindirlerin yükseltilmesi ile kaldırılır ve sıcaklığı kontrol edilen bir tünelden (fırından) tavlama için geçirilir. Fırının başlangıç kısmında SO₂ şeridin iki kenarına püskürtülür ve bu camı silindirlere temas etmesine karşı korumak için bir yüzey tedavi işlemi sağlar. Fırın, ısıtma ve güçle veya doğal aktarım ile doğrudan ya da dolaylı soğutmanın olduğu kısımlara ayrılmaktadır. Cam böylece şekillendirme işlemi boyunca çıkan kalıntı baskısını makul bir düzeye kadar azaltma için 600°C’den 60°C’a kadar derece derece soğutulur. Bu işlem camın float küveti üzerine dökülmesinden çizginin kesilmesine kadar zaman ve alan gerektirmektedir, 200 m sürekli cam şerit bulunmaktadır.

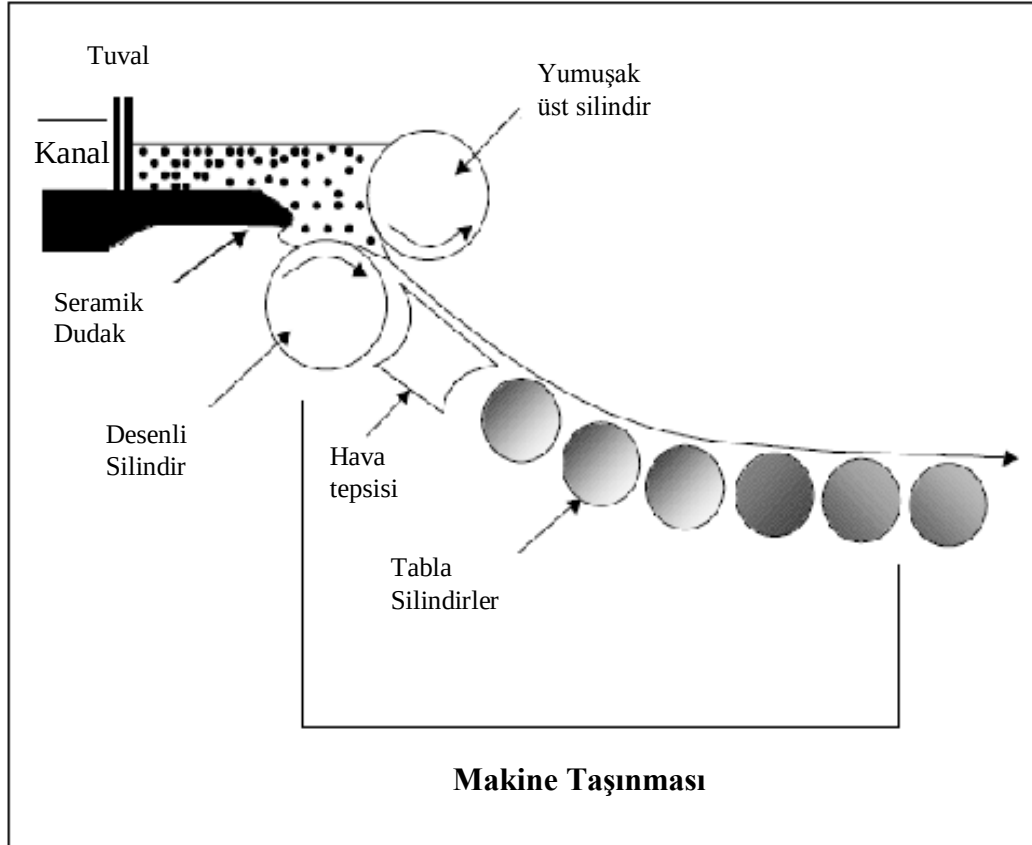
Soğutulmuş cam şeridi dolaşan bir kesici ile çevrimiçi kesilir, çizgi karşı kesicinin açısı çizginin hızına (eğer hareket halinde değilse 90°) bağlıdır. Silindir izleri taşıyan şeridin köşeleri kesilir ve cam kırıntısı olarak fırına geri dönüştürülür. Cam tabakaları ya satılmak üzere ya da ikincil işlemler için daha sonra incelenir, paketlenir ve depolanır.

Çevrimiçi kaplama ürünün performansının geliştirilmesi için uygulanabilir (örn. salım gücü sırası). Çevrimiçi kaplama işlemleri duruma özeldir ve sektörde çevrimiçi kaplama hizmetleri sunan tesislerin sayısı çok düşüktür.

Camın hareket eden bir şeridi gerekli filmi oluşturmak için tepkidikleri silis veya teneke yüzeyleri üzerine çarpmaları ile sıcak olmalarına rağmen kaplanırlar. İşlem genellikle iki ayrı kaplama aşamasından oluşmaktadır; silikon bazlı alt kaplama ve ayrı bir üst kaplama, örn. florin katkılı tekene oksit. Kullanılan kimyasalların doğası sebebiyle asit gazların emisyonları ve ince partiküller ortaya çıkabilir ve bunlar genellikle atanmış bir azaltma sistemi ile iyileştirilir.

2.5.2 Yuvarlak Cam İşlemi (Desenli ve Telli Cam)

Yuvarlak Cam İşlemi'nin şematik yansıması aşağıdaki Şekil 2.7'de gösterilmektedir.



Şekil 2.7: Yuvarlak Cam İşlemi

Yuvarlak cam sürekli bir çift-silindir işlemi oluşturulur. Erimiş cam yaklaşık 1000°C'de su-soğutmalı çelik silindirler arasında kontrol edilen kalınlık ve yüzey deseni ile bir şerit üretmek için sıkılır.

Cam, silindir geçişinin istenilen sıcaklık yukarı akımına ulaşmak için eritme fırınlarından forehearth içine aktarılır. Fırın kapasitesi ve istenilen ürün miktarına bağlı olarak fırından bir veya iki makine beslenebilir. Dönen silindirler erimiş camı silindirler arası ayırım ile belirlenen kalınlık şeridi olarak ortaya çıktığı geçişin içine iter. Tipik bir şerit genişliği yaklaşık 2 metredir. Su-soğutmalı silindirlerden geçerken ısı kaybı olur. Ara yüzeydeki sıcaklığın kontrolü sürecin doğru işlemesi ve ürünün kalitesi için gereklidir. Silindirlerden ortaya çıktığında, şerit önemli derecede bir daralmanın önüne geçecek ve yaklaşık 2 metrede hareket eden silindirlerin üzerine taşınacak akışkanlıktadır. Orada daha da soğutulur ve yaklaşık 600°C'de tavlanma fırınına taşınır.

Bu süreçte silindirler üç işlev görmektedir: şeridi oluşturmak, seçilen deseni basmak ve ısıyı ortadan kaldırmak. Silindirlerin doğru bir şekilde, tüm silindir yüzeyinde hiçbir kusur kalmadan eksensel simetri ve tek bir tip desen ile makineden geçirilmesi gerekmektedir.

Üretilen desenler dizisi çok geniştir ve böylece piyasa taleplerinin karşılanması için sık sık değişiklik yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, makine tasarımının önemli bir hususu da bir desen silindirinin değiştirilebileceği kolaylıktır. En çok kabul gören çözüm bir anahtar ray üzerinde dönen iki makinenin kurulmasıdır. Bu yolla, yeni desen silindirleri uygulama değişikliği gerektiğinde alana yerleştirilmeye hazır yedek makinede bulundurulabilir. Bu işlem cam akışının silindirlerin kanalın yukarı akımında yer alan metalik mantar ile durdurulmasını gerektirmektedir.

Dönme işlemi tel-destekli cam üretmeye kadar genişletilmiştir. Kullanılan iki farklı teknik vardır. Birincisinde, şekillendirme makinesine iki cam akışı sağlamak için iki kanal bulunmaktadır ancak ikinci yöntemde sadece bir cam akışı ve bir kanal gerekmektedir. Bir tel ızgara makinenin üstünde sallanan bir rulodan beslenir ve iki silindir arasındaki boşluğa giren cam akışı ile oluşan sözde cam yastığı içine yönlendirilir. Tel ızgaranın belirlenmesi, kontrolü ve kondisyonlanması ürünün kalitesi için büyük öneme sahiptir.

2.6 Sürekli Filament Cam Elyaf

[tm18 CPIV, tm8 S2 3.03]

Sürekli elyaf üretmek için çoğunlukla kullanılan bileşim, sektör ürünlerinin %98'inden fazlasını ifade eden E camdır. Tipik E cam bileşimi Tablo 2.6'da gösterilmektedir. Sürekli filament üretmek için başka bileşimler de kullanılır, ancak AB'de sadece ufak miktarlarda üretilir. Başka formülasyonlar için kullanılan eritme teknikleri oldukça bellidir ve bütün sektörde kullanılan teknikleri genel olarak yansıtmaz. Bu dokümanın amaçları açısından sadece E cam üretimi ele alınmaktadır.

Bileşik	Yüzde
SiO ₂	53 - 60
Alkali oksitler	< 2
Toprak alkali oksitler	20 - 24
B ₂ O ₃	5 - 10
Al ₂ O ₃	11 - 16
ZrO ₂	0
TiO ₂	0 - 3
F ₂	0 - 2
Demir Oksit	< 1
Çinko oksit	0
Saf olmayanlar	<1

Tablo 2.6: Tipik E cam bileşimi

Sürekli filament cam elyaf için cam eriyiği genel olarak çapraz yanmalı fosil yakıtlı yanan reküperatif fırınlarda üretilir. Avrupa'da ayrıca bir takım oksit yakıt yanmalı fırınlar da vardır, ancak sadece sınırlı bir süre için çalışır. Rejeneratif fırınlar, nispeten küçük fırın boylarından ve jeneratörlerdeki sıcaklıkta borat yoğunlaşmasının kontrolünün zor olmasından dolayı kullanılmaz. Bu sektörde en çok kullanılan cam formülasyonu, az elektrik iletkenliği doğuran çok az alkali içeriğe sahip E camdır. E camın %100 elektrikle eritme kullanılarak eritilmesi hali hazırda ekonomik anlamda mümkün değildir.

Eritilmiş cam ön uçtan refrakter kaplamalı, gaz ısıtmalı bir dizi kanaldan göbeğe akar. Her birinin tabanında cam akışına izin veren yataklar bulunur.

Yataklar, tabanında, tırtıllı metal tabağı olan (yatak tabağı), ölçülü yüzlerce delikli (yatak uçları) karışık kutu yapılarındadır. Yatak elektrikle ısıtılır ve her delikten çıkan eriyik camın istikrarlı akışını elde etmek için sıcaklığı tam olarak tüm yüzey üzerinde düzenlenir.

Yatak uçlarından camın akışı çekilir ve sürekli filamente şekil vermek için yüksek hızı olan sarma aletinin hareketi ile inceltir. 5(im ila 24(im arasında değişen belli çapta filament doğrusal çekme hızının belli bir şekilde düzenlenmesiyle (5 m/s'den 70 m/s'ye farklılık gösterir) elde edilir. Direkt olarak yatağın altında olan cam filamentler, suyla soğutulan metal kanatlar, yüksek hava akışı ve su spreylerin birleşen etkisi ile etkili soğutmadan geçer.

Filamentler birbirine çekilir ve her filamente esas olarak polimer sıvı çözelti ya da solüsyon şeklinde sulu karışım uygulayan bir silindir ya da kemerden geçirilir. Kaplama aynı zamanda yapıştırıcı ya da hacmiyle bilinir ve şu amaçlarından birisi ya da ikisine birden hizmet eder: daha ileri işleme ve dağıtma çalışmaları için filamentleri kendi aşınmalarından korumak ve cam elyafın reçineye iyi tutunmasını sağlayan polimer güçlendirmeler içindir. Filamentlerindeki yapıştırıcı içeriği genel olarak ağırlığın %0.5'i ila %1.5'i arasındadır. Giydirme materyali ürünün nihai kullanımına bağlı olarak değişecektir. Genel giydirme bileşenleri: film oluşturucular (polivinil asetat, kolalamak, poliüretan, epoksi reçineler gibi), bağlama maddeleri (organo fonksiyonlu silanlar gibi) pH oluşturucular (asetik asit, hidroklorid asit, amonyak tuzlar gibi) ve yağlar (mineral yağlar ve sürfaktanlar gibi).

Kaplanan filamentler, yapılacak olan güçlendirmenin türüne bağlı olarak bir sonraki işleme adımına gönderilmek üzere tutam denilen demetler toplanır. Tutamlar geleneksel ya da direkt işlemeden geçirilebilir. Gelenekse işlemede, 50 kg'lık "kalıplar" oluşturmak için tutamlar zembereğin dönen merdanesinde sarılır. %1.5'e kadar yapıştırıcı, %15'e kadar da us içeren kalıplar etiketlenir ve bir sonraki işleme ileri adıma gönderilir. Bazı uygulamalar için kalıplar ıslak işlenebilir, ancak çoğunlukla kurutma ocaklarına gönderilir. Ocaklar gaz, buhar, elektrik ya da dolaylı olarak havayla ısıtılır. Ana ürünler kıyılmış tutamlar, karışık yumaklar, kıyılmış tutam hasırlar, tekstil ipliği, kumaşlar ve çekilmiş elyaflardır.

Kıyılmış tutamlar kalıpların açılması ve filamentlerin döner kesici silindiri olan makineye atılmasıyla üretilir. Kıyılmış tutamlar genellikle 3mm ile 25 mm arasında olur ve 1 ton ağırlığa kadar çeşitli paketlemelerde taşınır. Karışık yumaklar, çeşitli kalıplardan tutamların, bir birimin uzunluğundan istenilen ağırlıkta yeterli camı elde etmek için açılıp bağlanması ile oluşturulur.

Kıyılmış tutam hasır, tutamın kalıplardan, ya da karışık yumaklardan, açılarak silindir kıyma aleti içinde kıyılması ile üretilir. Kıyıcılar, hareket eden taşıyıcı şeridine 3.5 metre genişliğinde uygulanabilecek şekilde düzenlenmiştir. Tutamlara, polivinil asetat sulu solüsyonu ya da oymuş polyester pudra gibi ikincil yapıştırıcı püskürtülür. Toplam yapıştırıcı kapsamı %2 ila %10 arasındadır. Taşıyıcı ıslak yumağı alır kurutma ve sertleştirme fırınlarına ve oradan da, hasır merdane üzerine açmadan önce bir çift sıkıştırma silindirine gider. Hasır çeşitli yoğunluklarda ve genişliklerde yapılabilir ve genel olarak 50 kg olan kutular ile paketlenir.

İplik ürünleri ya kuru şekil verilmiş kalıplardan ya da burma çalışması boyunca tutamların kurulduğu durumda, ıslak kalıplardan üretilir. İplikler, farklı tutamlardan herhangi bir kombinasyon içeren 100'e kadar kalıbı tutan burma makinesinde (ya da büküm makinesi) yapılır. Tutamlar bir araya getirilir, bir ip şeklinde burulur ve bir makara üzerine sarılır. Bu, tekstil endüstrisindeki benzer karmaşık bir işlemdir. Genellikle burma makinesi tek bir tutamdan sadece bir makara iplik üretecektir, ancak (daha az yaygın olmak üzere) çoklu sarmalı ipler de üretilebilir.

Cam elyaf kumaşı silindir kıyıcılar içinde kalıplardan açılmalı olan tutamların kıyılmasıyla üretilir ve ya direkt olarak hamurlaştırıcıya ya da sonra kullanım için orta boy boş taşıyıcıya verilir. Hamurlaştırıcıdaki dağılmadan sonra elyaflar ter bir örgü taşıyıcı banta ıslak serme yöntemiyle uygulanır.

Reçinelerin, polivilin alkol ve lateksin farklı türlerinden sulu solüsyonlar, %20'sine (kuru içerik) kadar yapıştırıcı olarak eklenilir. Gergef üzerine kumaş açılmadan önce tel, ağı, kurutma ve sertleştirme fırınına götürür. Cam elyaf kumaşı çeşitli yoğunluklarda ve genişliklerde yapılabilir.

Çekilmiş elyaflar çekilmiş kalıplardan ya da 50-300 (im uzunlukları arasında kıyılmış tutamlardan yapılır. Çekilmiş elyaflar 20 kg'dan 1 tona kadar birçok çeşitte paketler halinde taşınır.

Kıyılmış tutamlar, karışık yumaklar ve sürekli filament hasırları direkt işlemlerle de üretilebilir. Kıyılmış tutamlar direkt olarak tutamın yüksek hızdaki kıyıcıya verilmesi ile üretilir. Tutamlar toplanır ve ürünün kullanımına bağlı olarak ya ıslak olarak paketlenir ya da kurutulur. Direkt karışık yumaklar, istenilen ürüne göre farklı çaplarda belli sayıda deliği olan tabak kullanılarak üretilir. Filamentler kaplanabilir ve karışık yumaklar normal yoldan kuruyabilir. Sürekli filament hasırı direkt olarak tutamların taşıyıcı üzerine serilmesi be üzerine sulu ya da pudra şeklindeki yapıştırıcının püskürtülmesiyle üretilir. Taşıyıcı üzerine doğru filament yüklemelerini mümkün kılmak için özel bir cihaz kullanılır. Hasır kurutma ocağı ve sıkıştırma silindirlerine, merdanede ezilmeden ve paketlenmeden önce gönderilir.

2.7 Evsel Cam

[tm27 Domestic]

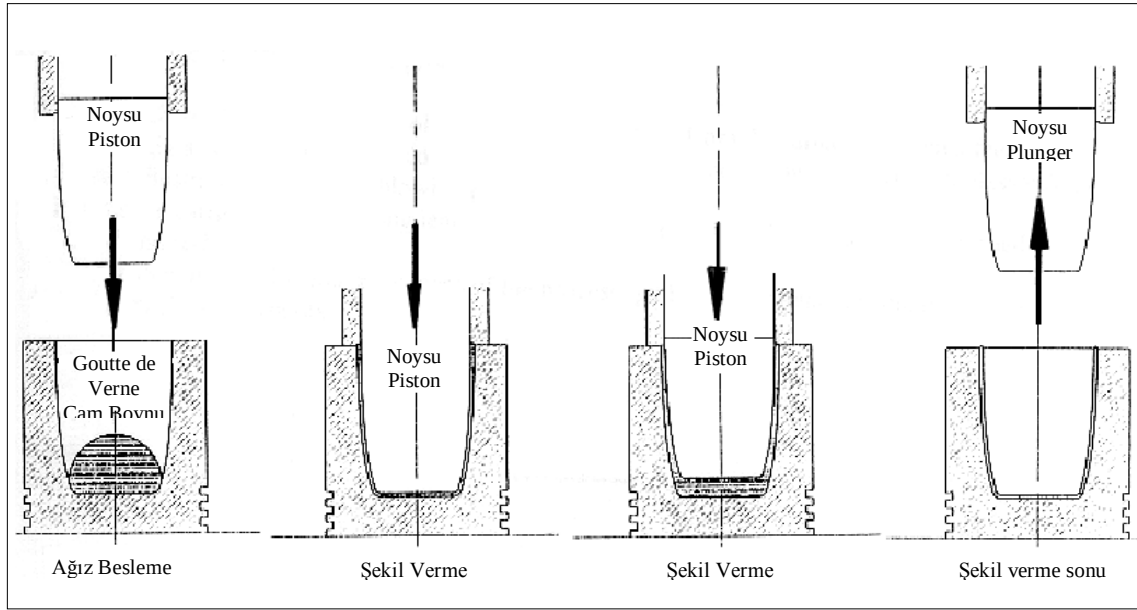
Bu sektör, cam sanayinin, geniş yelpazede ürünler ve işlemler içeren kendi içinde en çok farklılık gösteren sektörlerden birisidir. İşlemler dekoratif kurşun kristal üreten el yapımı, karmaşık çalışmalardan, düşük değerli toptan tüketici ürünleri yapmak için yüksek hacimli, çok mekanize olmuş yöntemlere kadar farklılık gösterir. Evsel camın çoğunluğu, cam kabin formülasyonlarına yakın formülasyonları olan soda kireç camından yapılır. Ancak, belli miktar gerekliliklerinden ve daha çeşitli şekillendirme işlemlerinden dolayı genel olarak formülasyonlar daha karışıktır. Cam kap ta olduğu gibi renklendirici madde ya fırına ya da besleme haznesine eklenebilir. Diğer en önemli evsel cam türleri:

1. Florid ya da fosfat içeren opal (opak) camlar.
2. 69/493/EEC Direktif'i tarafından sunulan resmi tanımlarda (formülasyonlar ve özellikler) tam kurşun kristal, kurşun kristal ve kristal cam.
3. Termal genleşme katsayısı çok düşük olduğundan özellikle pişirme parçalarına uyarlanan bor içerikli borosilikat cam.
4. Yemek pişirme parçaları için düşük genleşme katsayılı cam seramik.

Geniş yelpazede ürün ve işlemlerin olması 2.3 sayılı bölümde açıklanan eritme tekniklerinin hepsinin doğal olarak pot fırınlardan büyük rejeneratif fırınlara kadar, sektör içinde kullanılabileceği anlamına gelir. Kap üretiminden farklı olarak dışarıdan gelen cam kırıkları kalite sınırlamalarından dolayı çoklukla kullanılmaz, ancak içerde ortaya çıkan cam kırıkları genel olarak kullanılır.

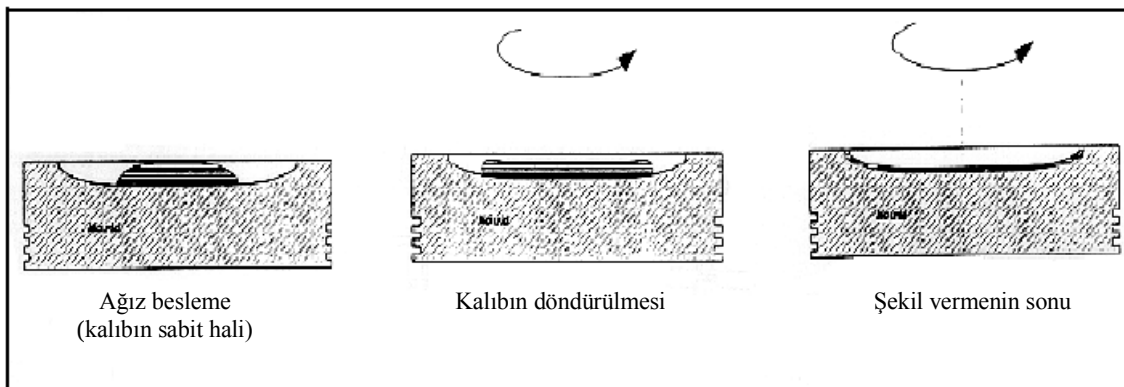
Şekil verme süreçleri otomatik işleme ve el yapımı ya da yarı otomatik işleme olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Otomatik işleme cam kap sektörüne benzer. Fırından gelen cam bir ya da daha fazla göbekten, parçaların kalıplar kullanılarak şekil verildiği, şekil verme makinesine doğru beslenir. Şekil verme çalışması yapılan ürünün çaplarına bağlıdır. Dört ana teknik vardır: Presleme ve üfleme, üfleme ve üfleme, presleme ve bükme. Presleme ve üfleme ve üfleme ve üfleme teknikleri esas olarak cam kap sektörüyle aynıdır ve bu nedenle, makinelerin tasarımı ve çalışma koşulları (hız, kalite, gereklilikler) değişiklik göstermesine rağmen, burada daha fazla açıklanmamaktadır.

Presleme işlemi nispeten basittir ve oldukça yüzeysel ya da ağzın tabandan daha geniş olduğu ya da onunla aynı genişliğe sahip olduğu parçalar için kullanılır. Bir kalıp ile piston arasında erimiş cam parçasının preslenmesini içerir. Camın sıcaklığı formülasyona göre değişecektir, ama soda kireç camı için genellikle 1150 °C'dir.



Şekil 2.8: Cam parçaların oluşumu için presleme işlemi

Bükme işlemi, tabak ve sade kaseler gibi dairesel parçaların üretiminde kullanılır. Bir sıcak erimiş cam parçası, daha sonra döndürülmek üzere kalıp içine dökülür ve parça, merkezkaç gücü sonucu şekillendirilir.



Şekil 2.9: Camın farklı kısımlarının şekillendirilmesi için eğirme prosesi

Gerekli yüzey kalitesini elde etmek için şekil verilmiş parçalar genel olarak ateşle bitirilir ve parlatılır. Çok yüksek sıcaklıklar genelde gereklidir ve oksijen gazı, bazı durumlarda da oksijen-hidrojen yanması yoluyla sağlanır. Bu işlemlerin belli bir seviyede düşük enerji tüketimi, kolay kullanım ve salınan gaz hacimlerinin azaltılması avantajları vardır. Yanma akabinde parçalar bir tavlama ocağına geçer ve yüksek giydirmeleri uygulanır. Tavlama ve soğuk giydirme çalışmaları cam kap larinkine benzer ve bu nedenle burada daha fazla açıklanmamaktadır. Bazı durumlarda parçalar tavlama fırınına değil, mekanik ve termal şoklara dayanıklılıklarını arttırmak için sertleştirme fırınına gönderilir. Bazı parçaların üretilmesi iki ya da daha fazla ayrı parçalar halinde işleme sokmayı, sonra yeniden içerde eritmeyi içerir. Bu, camların kulp ve ayaklarına uygulanır bardak ve fincanlara dağıtılır. Bu parçalar presleyerek, çekerek ya da kalıptan geçirerek yapılır. Cam kulplar genellikle cam gövdeden çekilerek yapılır ve sadece ayaklar ayrı olarak eklenir.

El yapımı parçalar konusunda, cam, ya direkt olarak fırından ya da besleme haznesinden bir kişi tarafından çukur bir boru ile alınır. Küçük bir çukur gövde (kalıp), sorudan kısa bir nefes üflenmesiyle yapılır ve daha sonra şekil odun ya da metal kalıp içinde döndürülerek verilir. Dışa gerilimin ortadan kaldırılması için parçalar tavlama fırınına gönderilir ve ateşte bitirilir, parlatılır ve tekrar ısıtılır. Yarı otomatik üretimde, işlemin bazı adımları (toplama, şekil verme ve dağıtma) makineler ya da robotlar tarafından yürütülür.

Genelde el yapımı parçaların üretimi EKÖK'te, diğer cam yapma çalışmalarının yürütüldüğü tesislerin ele alındığı yerde bulunması muhtemeldir.

Ana parçaların üretimini takiben, parçalar bir ya da daha fazla soğuk bitirme çalışmalarına tutulur. Bunlardan bazıları aşağıda genel olarak açıklanmaktadır.

Kesme, içi çarklar ile doldurulmuş boş cam parçaları üzerine önceden seçilmiş işaretleri tam olarak oymayı içerir. Bu işlem ürüne bağı olarak ya elle ya da otomatik olarak yapılır. Su (bazen yağlar gibi sıvılar da katılır) kesmede bir soğutucu olarak kullanılır ve aynı zamanda ince cam parçacıklarını siler. Su arıtılır ve ya tasfiye edilir ya da geri dönüşüme katılır. Parçaların uçları bazen benzer ama daha az belli teknikler kullanılarak iyileştirilir ve parlatılır.

Cam kesme, cam yüzeyi üzerinde gri ve tam olmayan bir yüzey oluşturur. Cam yüzeyi, hidroflorik ve sülfürik asitlerden oluşan bir parlatma banyosuna batırılarak eski haline dönüştürülür. Pürüzlü alanlar daha geniş yüzeylerinden dolayı çözüldüğünden asitler, cam yüzeyini düzleştirir. Beyaz bir “deri” (kurşun dulfattan oluşur), camın yüzeyi üzerinde oluşur. Cam sıcak sıcak suda çarkalandıktan sonra parlak durumuna kavuşur.

Parlatma banyosunun yüzeyinden HF ve SiF₄ buğuları yükselir. Bu buğular kulelerin temizlenmesinde arıtılır. Bu çalışma süresince %35'e varan genel yoğunlaşmalar ile birlikte heksafluorosilikik asit (H₂SiF₆) oluşur ve asitik yıkama suyu sonradan nötrale olur. Alternatif olarak H₂SiF₆ iyileştirilebilir ve uygun olan yerlerde kimyasal endüstrisinde besleme stoğu olarak kullanılabilir. Asitik durulama suyu da aynı zamanda periyodik olarak nőtürleştirmeyi gerektirir. Asit parlatmaya, mekanik parlatma ve yüksek ısıda ya alevle ya da lazerle parlatma gibi, alternatif teknikler geliştirilmektedir.

Çekici şekiller yaratmak için diğer birçok teknik kullanılabilir. Bunlar enameller ile süslemeyi, kum püskürterek donuklaştırmayı ya da asit aşındırmasını ve oymayı içerir. Bu çalışmalardan ortaya çıkan emisyon düzeyi ana işleme aşamaları ile karşılaştırıldığında çok azdır.

2.8 Özel Cam

[tm25 Special, tm1 UKDoE, tm21 Schott]

Özel cam sektörü, bileşim yollarına, üretim yöntemlerine ve nihai kullanımına göre önemli ölçüde değişebilen geniş yelpade ürünleri içererek kendi içinde aşırı farklılık gösterir. Ayrıca, ürünlerin çoğunun diğer sektörlerdeki ürünlerle, özellikle de borosilikat camlar açısından evde kullanılan camlarla iç içe geçtiği düşünülebilir. Diğer ürünlerin çoğu nispeten düşük hacimde ve genellikle açık bir şekilde günde 20 ton sınırının altındayken, katot ışın tüpü camı ve borosilikat cam özel cam üretiminin %70'ini karşılar. Ancak bu düşük hacimdeki ürünlerin çoğu, bütün çalışmalardaki toplam üretimin bu sayısı aştığı tesislerde üretilir. Tablo 2.7, ana cam türlerinin birleşimlerini verir. Bu bölüm, sektörde kullanılan ana üretim yöntemlerini genel olarak açıklar.

Sektördeki ayrılıklar yüzünden geniş yelpazede eritme teknikleri kullanılmakla birlikte, üretimdeki düşük hacimler çoğu firmanın oldukça küçük olduğu anlamına gelir. En yaygın teknikler reküperatif fırınlar, oksijen gaz fırınlar, elektrikli eriticiler ve günlük tanklerdir. Bazı durumlarda, örneğin KIT cam ve su camı üretiminde rejeneratif fırınlar da kullanılır. Özel camların eritme sıcaklıklarının, daha geleneksel kütle üretim bileşimleri için gerekenden daha yüksek olabileceği belirtilmelidir. Özellikle KIT'lar, borosilikat cam ve cam seramikler 1650°C'den daha fazla eritme sıcaklığına ihtiyaç duyar. Bu yüksek sıcaklıklar ve karışık formülasyonlar, ton başına, mesela soda-kireç ürünlerinden daha fazla daha fazla çevresel emisyonlara neden olabilir. Yüksek sıcaklıkları ikiye katlayan daha düşük ölçekte üretim, aynı zamanda enerji verimliliğinin daha düşük olması ve sektördeki fırın kullanma ömrünün genel olarak daha kısa olması anlamına gelir.

Optik cam ve seramik cam gibi bazı ürünlerin yüksek kalite standartları, kirlenmeden korunmak için inceltme bölümünden parçaların platinyum ile daha ileri inşa edilmesi (ya da kaplanması) anlamına gelir.

Diğer sektörlerde olduğu gibi eritme ve inceltmeyi takiben eritilmiş cam fırından ısısı kontrol edilen göbekten şekil verme üretim düzeneğine akar. Sektörde kullanılan temel şekil verme teknikleri:

- Presleme ve üfleme üretimi (borosilikat cam, masa takımı ve mutfak ürünler).
- Dönen kalıp (önkalıp) işlemi (borosilikat cam, lamba birimleri).
- Aşağı üfleme (ya da üfleme yerleştirme) işlemi (borosilikat cam, evsel cam)
- Haddeleme (seramik düz cam).
- Presleme (KIT camı ve lamba birimleri).
- Şerit işlemi (ışık ampülleri).
- Bükme işlemi (borosilikat cam)
- Tüp kalıptan geçirme, Danner ve Vello işlemleri (ışıklandırmayı içeren cam boru).
- Kalıba dökme (optik cam bloklar ve bazı özel ürünler).
- Çekme işlemi (görüntü camları gibi ince film camlar için aşağı çekme, borosilikat cam için yukarı çekme)
- Yüzdürme (borosilikat cam)
- Çözülme (su cam solüsyonları).

Presleme ve üfleme ve üfleme ve üfleme ve üretim esas olara cam kap sektörü için tanımlananla aynıdır. Seramik ocak ızgaraları ve pişiriciler gibi parçaları üretmek için kullanılan haddeleme işlemi, düz cam sektörü için tanımlanan işlemin çapı küçültülmüş ama düz haddecileri olan bir şeklidir. Bu işlemler, burada daha fazla açıklanmamaktadır ve referans daha önceki bölümlere yapılmalıdır.

Presleme işleminde cam, metalik kalıp materyalinin bütün parçalarıyla kontakt halindedir. Presleme kalıbı üç parçadan oluşur: çukur kalıp; cam duvar kalınlığını belirleyen bir alan bırakan kalıp içine uygun piston ve piston kalıptan çıkarken ona yön veren conta bileziği. Erimiş cam parçası kalıp içine yerleştirilir ve cam, kalıbın bütün alanlarına preslenene kadar bilezik ile yönlendirmeli piston tarafından hidrolik ya da pnömatik bir şekilde preslenir. Piston ve kalıp camdan sıcaklığın çoğunu alır ve katılaştırmadan sonra piston çekilir. Çoğu presleme makinesi, genellikle 4 ila 20 (maksimum 32, KIT cam için genel olan 11) arasında kalıcı olan döner tablalar üzerinde çalışır. Döner tablalar camı adım adım doldurulması, preslenmesi, soğutulması ve çıkarılması aşamalarını gerçekleştirir.

Işık ampülleri şerit işlemi kullanılarak üretilir. Camdan bir şerit, suyla soğutulmuş iki haddecisi arasında eritilmiş cam haddelenerek şekil verilir. Haddeciler geçilirken, deliklileri olan bir sürekli bant oluşturan bir dizi orifis tabaklar üzerindeki makineye geçer. Şerit üfleme kafalarının sürekli zincirinde ilerlerken, banttaki deliklere bir üfleme kafası gelecek şekilde şeridi yukarıdan karşılar. Üfleme kafası cama delikten bir üfler ve cam, aşağıdan gelen ve etrafından onu kapayan döner bir kalıp içinde bir ampül şeklini alır. Şerit üzerinde ilerleyen şekil verilmiş ampül kendi kalıbından çıkarılır, hava ile soğutulur ve daha sonra şeritten çıkarılarak taşıyıcı bant üzerine transfer edilir. Bu bant, ampülleri tavlama fırınından soğutma, kontrol etme ve paketlemeye kadara taşır. Bir dakikada 1000'i aşan oranlarda üretim başarılabilir.

Ölçü toleransına çok yakın olan parçalar üretmek için, kristalize olmaya meyilli camlar için ya da aşırı akışkanlık eğrisi olan camlar için kullanılabilir. Endüstriyel kullanım için keskin uçlu çapraz kısımları olan tam ya da çukur profillerin ekonomik yöntemi vardır.

Örneğin, laminer çekme yöntemi kullanarak, iki ya da üç cam türü kimyasal olarak dayanıklı camla kaplı bileşenler üretmek için bir araya getirilebilir.

Cam tüpün sürekli çekmesi için daha çok kullanılan yöntem Danner işlemidir. Eriyik camdan sürekli bir dizi, Danner merdanesi denilen, hafif köşeli, yavaş dönen refraktör yuva üzerine akar. Merdanein alt ucunda çukur ampül tüpün çekilmesiyle oluşur. Hava, camın içindeki çukur yeri sürdüren çukur merdane şaftına doğru üflenilir. Yatay olarak yeniden yönlendirildikten sonra, sertleştirme tübü yürüyüş makarası üzerinde çekme birimine, 1.5m ya da bazen daha uzun uzunluklarda kesilmek üzere taşınır. Bu makineler, camın borusundan her saniye 3 metreden fazla üretebilir.

Vello işlemi ikinci en çok kullanılan işlemdir ve Danner işlemiyle üretilen ürün açısından neredeyse aynı orana sahiptir. Cam, fırından göbek boyunca akar ve orifisten (bilezik), bilezik içinde bulunan yere açılan (zil) konikli bir zoru ile camın içinde sürdürülmesi sağlanan çukur ile aşağı iner. Hala yumuşak olan tüpyatay bir şekilde yeniden yönlendirilir ve yürüyüş makarası ile çekilir, soğutulur ve Danner işlemine uygun olarak kesilir.

Vello işleminde değişim, 360 mm'ye kadar çaplarda tüp üretmek için kullanılabilecek bir aşağı çekme işlemidir. Cam bir vakum çemberinden aşağı doğru çekilir ve kapalı iris diyaframından ve değişik aralıklarda uygulanabilecek dairesel kapaklardan geçirilir. Dördüncü işlem, cam tübün dönen hazneden dikey olarak çekildiği yukarı doğru işlemdir. Çekme alanı, bir ucu cama batırılmış dönen bir seramik silindir ile korunulur. Çukur alan, camın yüzeyinin üzerine yerleştirilen hava jeti yoluyla oluşturulan. Bu teknik, özellikle kalın duvarları ve büyük çapları olan tüpleri üretmede faydalıdır.

Optik cam hem bloklar içinden kalıbını çıkararak hem de daha ileri işlem için satılmak üzere, boşluklar oluşturmak için silindirlere sıkıştırılarak oluşturulabilir. Kalıplar genellikle refraktör materyallerden yapılır.

Su camı (sodyum silikat, Si:Na oranı 2-3.5), fosil yakıt yakılan fırınlarda kum ve soda külünün (sodyum karbonat) eritilmesiyle yapılır. Potasyum silikat türevi de potas (potasyum karbonat) kullanılarak yapılabilir. Fırın geleneksel fırına oldukça benzer ve büyüğe bağlı olarak ya geri kazandırıcı ya da yenileyici fırın olabilir. Fırın genellikle, kısa dayanıklılık süresi olan geleneksel fırından daha kısadır, çünkü camı işlemesine gerek yoktur. Erimiş cam fırının ucundan (göbekler genellikle gerekli değildir) akar ve bazen direkt olarak suyla ya da suyla soğutulmuş taşıyıcıyla temas edilerek hemen soğutulur. Cam katı madde olarak satılabilir, ancak daha çok yüksek sıcaklık ve basınçta (cam atmosferik basınçta kısıtlı düzeyde çözülür) sadece solüsyon vermek için suyun içinde çözülür.

Su camı, ayrıca, kesin bir şekilde kontrol edilen adımda kristal silikat çözeltisi üretmek için sodyum hidroksit için de direkt olarak çözülmesini içeren hidrotermal işlemle de üretilir. Reaksiyon, sert koşullara karşı dayanıklı olması için özel olarak tasarlanan basınçlı kaplar içinde gerçekleşir. Bu işlem cam işlemi olarak ele alınmaz, ancak her iki faaliyeti de içeren bir tesis için izin alınması açısından ele alınmak zorunda kalınabilir.

Materyal	KIT Cam		Cam Tüp		Kimyasal cam eşya gibi Borosilikat Cam	Diğer ışıklandırma		Cam Seramik	Kvartz cam	Optik Cam		Dioksitler gibi diğerleri	Su camı a)Na silikat b)K silikat
	Panel	Huni	Toprak Alkalın	Borosilikat		Opak Cam	Lamba Ampul			Bor tepeli	Florin tepeli		
SiO ₂	60 - 63	53 - 55	70	70 - 81	70 - 81	67.5	73 - 75	60 - 64	99.9	61.7		35	66 - 88
Al ₂ O ₃	2 - 3.4	1 - 5.2	4	2.3 - 5.5	2.3 - 5.5	5	1 - 4	10-20	0.005	0.3 - 3.0	15		0.1
Fe ₂ O ₃				0.01 - 0.03	0.01 - 0.03	0.15							0.03
CaO	0 - 3.2	0.9 - 3.8	4	0.01 - 1	0.01 - 1	9.4	0.5	0.5-7.0	0.001	0 - 3.20			0.008
PbO		21 - 23										60	0.0002
MgO	0 - 1.2	0.6 - 2.2	2	0.01 - 0.5	0.01 - 0.5		0.5	0.01 - 0.50	0.001				0.008
Na ₂ O	6.6-9.4	5.8 - 6.7	12.5	3.5 - 6.5	3.5 - 6.5	13.6	3 - 4	0.5 - 10	0.001	0 - 5.0			20 - 34(a)
K ₂ O	6.6-8.4	7.8 - 8.1	2.5	0.5 - 1.5	0.5 - 1.5	1.8	1.5 - 2.5			12 - 18		5.0	27 - 32(b)
SO ₃						0.2							0.015
F						4.0					35		
B ₂ O ₃			1	8-13	8-13		12 - 17			6 - 20			
BaO	8.3 - 13	0 - 2.5	4					1.0 - 2.0		0 - 10	20		
ZnO								0.5 - 6.0					
SrO	2.2 - 8.8	0 - 0.5											
ZrO	0 - 2.3	0 - 0.2		0.01 - 1	0.01 - 1			1 - 2.0					
P ₂ O ₅											20		
LiO ₂								3.0 - 4.0					
TiO ₂				0.01 - 5	0.01 - 5			1.5					

Tablo 2.7: Özel cam sektörünün ana ürünlerin kimyasal birleşimi

Cam birleşimlerinin bazıları büyük ölçüde üründen ürüne değişir ve yukarıda verilen rakamlar sadece yol gösterici olabilir.

2.9 Maden Yünü

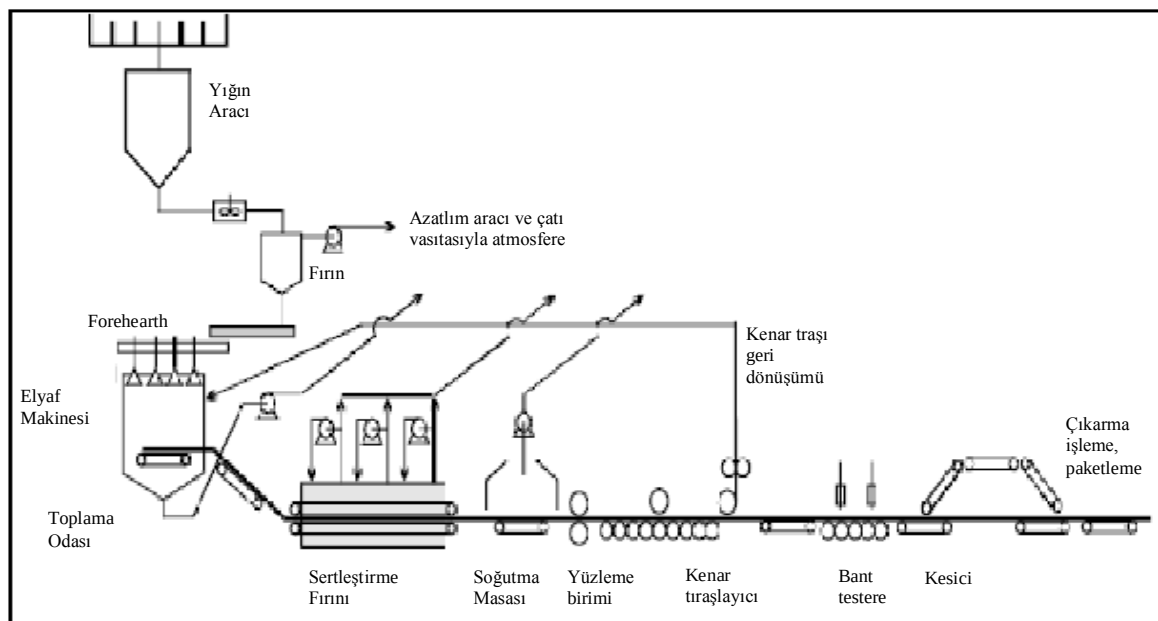
[tm26 EURIMA, tm8 S2 3.03]

Maden yünü imalatı aşağıdaki aşamalardan oluşur: ham maddenin hazırlanması; eritme; eriyiğin fiberizasyonu; bağlayıcı uygulanması; ürün altlığının oluşturulması; bakım; soğutma ve ürün bitirme. Maden yünü iki ana kategoriye ayrılabilir: cam yünü ve taş veya cüruf yünü. Ürünler esasen aynı uygulamalarda kullanılır ve aslında ham maddeler ve eritme yöntemleri farklılık gösterir. Eritme aşamasının ardından, işlemler ve çevre konuları özünde benzerdir. Maden yününün karakteristik formülasyonu aşağıda Tablo 2.8’de verilmektedir.

Maden Yünü	SiO ₂	Alkali Oksitler	Toprak Alkali Oksitler	B ₂ O ₃	Demir oksitler	Al ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅
Cam yünü	57 - 70	12 - 18	8 - 15	0 - 12	<0.5	0 - 5	Eser	0 - 3
Taş yünü	38 - 57	0.5 - 5	18 - 40	Eser	0.5 - 12	0 - 23	0.5 - 4	0 - 3
Curuf yünü	38 - 52	0.5 - 3	30 - 45	Eser	0 - 5	5 - 16	<1	Eser

Tablo 2.8: Tipik maden yünü kompozisyonları

2.9.1 Cam Yünü



Şekil 2.10: Tipik bir cam yünü tesisi

Cam yünü imalatı için ham maddeler esasen karayolu tankerleri ile dağıtılır ve pnömatik biçimde depolama bunkerleri içinde nakledilir. Her bir işlem bir dizi ham madde kullanacaktır ve yığının kesin formülü ciddi ölçüde işlemler arasında değişkenlik gösterebilir. Cam yünü imalatı için temel maddeler kum, susuz sodyum karbonat, dolomit, kireç taşı, sodyum sülfat, sodyum nitrat ve boron ve alüminyum ihtiva eden minerallerdir.

Pek çok işlem ham madde olarak işlem hırdası cam kullanır. Bu camlar elyaf yapma işlemi kesintiye uğradığında fırından suyun içine yönelen eriyik akıntısının söndürülmesi ile oluşan kırılmış camdır. İşlem hırdası da nihai ürün ile aynı kesin formülasyona sahip olur ve derhal fırına geri gönderilir. Şişe hırdası ve cam tabak hırdası gibi diğer tür atık camlar da giderek artan bir biçimde besleme stoku olarak kullanılmaktadır. Bu tür malzemenin geri dönüşümü daha zordur ve kullanılması maliyete, kompozisyona, saflığa ve arz tutarlılığına bağlıdır.

Çeşitli imalatçılar ayrıca işlenmiş fiber atıklarını ve fırın atık gaz akımından toplanan tozu da eriticiye geri gönderir.

Atıklarının çoğunun fiberli yapısı daha fazla işlemeden geri dönüşümünü uygulanamaz hale getirir. Cam fırın ham maddeleri toz olarak veya granül formunda boşaltılır ve bu nedenle atık malzemenin boşaltılmadan önce öğütülmesi veya peletlenmesi gerekir. Bu ise çeşitli frezeleme işlemi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Atık ürün ve filtrelanmış atıklar önemli oranda organik bağlayıcı ihtiva eder. Bir cam fırınında atıkların karbon muhteviyatı bir dizi potansiyel probleme yol açar, örneğin: azalan ısı transferi, köpürme, eritme koşullarının destabilizasyonu ve fırın kimyasının değişmesi. Bu problemler azaltılabilir ancak fırında geri dönüşümü sağlanabilecek atıkların miktarı konusunda bir sınır vardır. Ayrıca, oksidize edici bir unsur olarak sodyum veya potasyum nitrat eklemek gerekebilir ve bu malzemelerin ayrışması azot oksitlerin emisyonuna ciddi ölçüde ilave yapılabilir.

Çeşitli ham maddeler kesin olarak formüle edilmiş bir yığını üretmek için otomatik olarak tartılır e karıştırılır. Karıştırılan yığın daha sonra fırına gitmeden önce orta büyüklükte bir depolama bunkerine aktarılır.

Fırın (birkaç istisna dışında) ya elektrikli ısınan bir fırın, ya geleneksel gaz ateşlemeli bir reküperatif fırın ya da daha az yaygın olarak oksijen gaz fırını olacaktır. Bu teknikler yukarıda Bölüm 2.3’de tanımlanmaktadır.

Eriyik cam akıntısı fırından çıkıp ısıtılmış ısıya dayanıklı sıralanmış foreheart boyunca akar ve özel olarak tasarlanmış dönen santrifüjlü çevirici içine yatak yapan bir dizi (genellikle bir ile on arası) tekil delikten dökülür. İlk elyaf yapma, dönen bir brülörden gelen sıcak alev gazları ile daha fazla güç yitiren dönen çeviricinin santrifüj faaliyeti ile gerçekleştirilir. Bu işlem rastlantısal olarak üst üste binmiş çeşitli uzunluklarda ve çaplarda bir fiber tülü oluşturur. Bu tül elyafa bütünlük, esneklik, dayanıklılık ve nihai ürüne işleme kalitesi sağlayacak bağlayıcı ve madeni yağ bazlı bir fenolik reçine solüsyonu püskürtün bağlayıcı spreyi halkasından geçer.

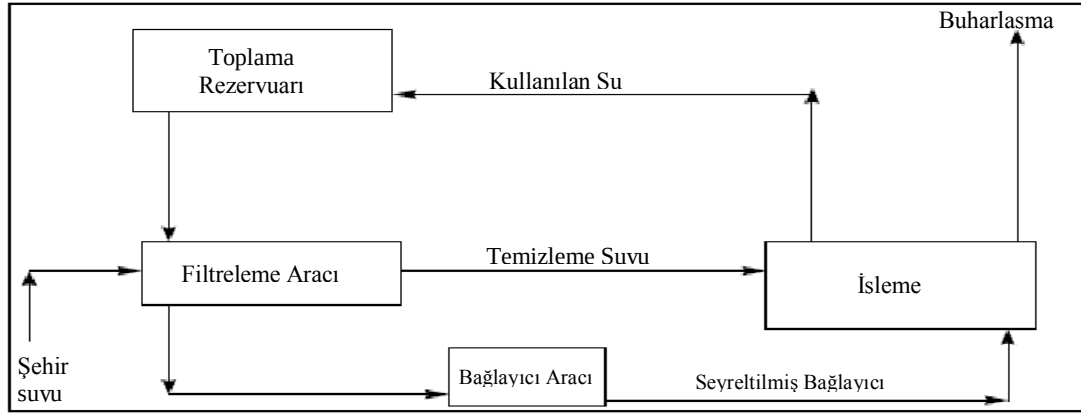
Reçine ile kaplanan elyaf, bir elyaf dōşeęi oluşturacak şekilde hareketli bir konveyör içine vakumla çekilir. Bu dōšek ürünü kurutan ve bağlayıcıyı sertleştiren yaklaşık 250 oC’lık gaz ateşlemeli bir fırından geçer. Daha sonra ürün hava ile soğutulur ve paketleme öncesi boyutuna uygun kesilir. Kenar tıraşları granül hale getirilerek yeniden elyaf tül içine üflenebilir veya gevşek bir yün ürünü oluşturmak için fazla ürünle birleştirilebilir. Bazı ürünler fırında sertleştirme yapılmadan elde edilir, örneğin mikrodalga sertleştirme, sıcak pres, sertleştirilmeden veya bağlayıcısı olmayan ürünler. Ayrıca bazı laminasyonlu ürünler bir kaplama uygulaması ile yapılırlar, örneğin, alüminyum folyo veya bir yapıştırıcı ile yüzeye uygulanan cam doku.

Yangına veya tıkanmalara yol açabilecek elyaf veya reçineli malzemelerin oluşumunu önlemek ve baca gazından sürüklenmiş malzemeleri ortadan kaldırmak için aşağı akış yönündeki işlem kanaletlerine su püskürtülür. Su aynı zamanda toplama kanalının ve tesisin diğer bölümlerinin temizlenmesi için de kullanılır. İşlem suyu sistemi genel olarak kapalı bir devre şeklindedir, su toplanır, filtre edilir ve kanalete püskürtme, temizleme suyu ve bağlayıcı seyreltme amaçlarıyla yeniden kullanılır. Tipik bir işlem suyu sistemi aşağıda Şekil 2.11’de gösterilmektedir.

Bir dizi ikincil ürün imal edilen cam elyafından üretilebilir. Bu ürünler arasında, havalandırılan tesisatlarda granül formda izolasyon yünü, daha fazla işlenmek üzere müşteriye arz edilen paketlenmiş sertleştirilmemiş yün ve lamine edilmiş veya yüzölçü ürünler yer alır. Boru izolasyonu, pres ile kalıplama ve sertleştirme için yapılan esas işlemde elde edilen sertleştirilmemiş yün yünden sıklıkla elde edilen önemli bir ikincil üründür. Alternatif olarak, yün genel sertleştirme aşamasına gönderilmeden önce çap oluşturmak için geri çekilebilir ısıtılmış maçalar üzerine sarılabilir ve dış duvarı oluşturmak üzere ısı ile işlenebilir.

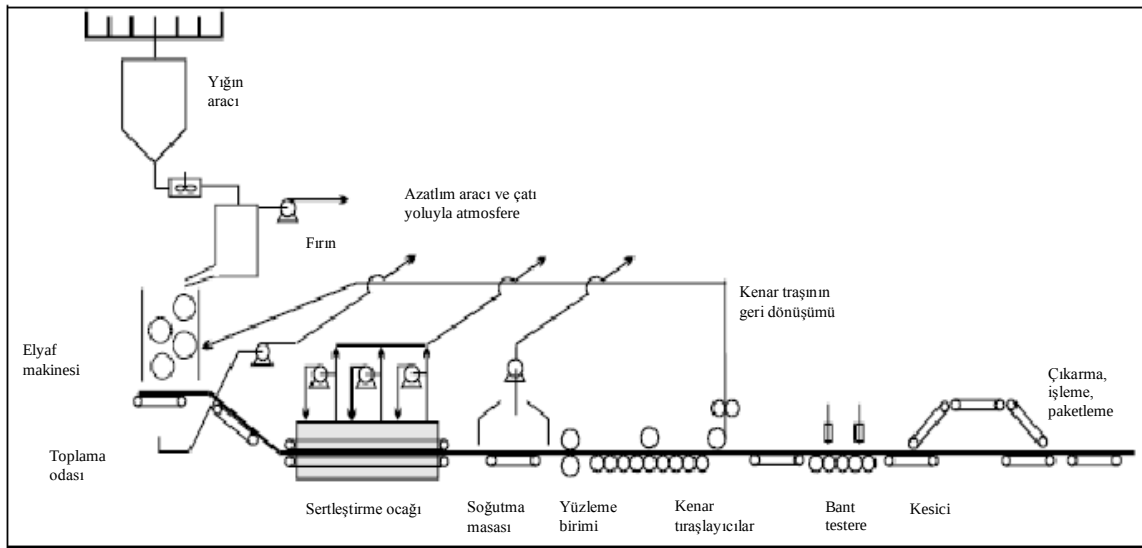
Kısmen polimerize reçinenin, uygulama etkinliğini geliştirmek, yüne yönelik reçine yapışkanlığını artıracak, toz oluşumunu baskılayacak, su dayanıklılığı verecek ve bağlayıcının seyreltilmesine yardımcı olarak belirli katkı maddeleri ile karıştırılması yoluyla bağlayıcı hazırlanır. Bağlayıcı, tüle uygulanmadan önce ciddi miktarda su (mümkün olan yerlerde işlem suyu) ile seyreltilir.

En yaygın kullanılan reçine; fenol, formaldehit ve bir katalizörün termoset bir ürünüdür. Reçine su bazlıdır ve tipik olarak %50'ye kadar katı madde ihtiva eder. Bağlayıcı kimyasına ilişkin daha detaylı bir tanım Bölüm 4'de verilmektedir. Reçine uzmanlaşmış imalatçılardan ithal edilebilir veya yerinde maden yünü imalatçıları tarafından yapılabilir. Yerinde reçine üretimi genellikle, istenilen düzeyde polimerizasyon ve katı madde vermek için termal kontrol altında ham maddelerin tepkimeye sokulduğu bir kesikli işlemde oluşur. Reçine imalatının kimyasal bir süreç olduğu düşünülmektedir ve bu dokümanda yer verilmemiştir.



Şekil 2.11: Tipik bir maden yünü işleme su devresi

2.9.2 Taş yünü



Şekil 2.12: Tipik bir taş yünü tesisi

Geleneksel bir taş yünü, alüminyum silikat kayası (genellikle bazalt), eritme fırını cürufu ve kireçtaşı veya dolomit kombinasyonunun eritilmesi ile elde edilir. Yığın aynı zamanda geri dönüştürme veya ürün atıklarını da ihtiva eder. En yaygın eritme tekniği, kok kömürü ile ateşlenen sıcak eritme kupolasıdır. Kupola, ısıya dayanıklı dizilebilen, dipten kapatılabilen silindirik bir çelik maçadan oluşmaktadır. Tüm fırın yüzeyi açık, konvektif soğutma suyu devresi vasıtasıyla su ile soğutulur.

Ham maddeler ve kok kömürü kupolanın üstünde farklı katmanlara boşaltılır veya bazen karıştırılır. Hava, bazen oksijen ile zenginleştirilmiş olarak, dipten yaklaşık 1 veya 2 metre yüksekliğe kupolanın yanma alanına enjekte edilir. Burası yaklaşık 2000 oC ile kupolanın en sıcak noktasıdır.

Eriyik malzeme kupolanın dibinde toplanır ve bir niş vasıtasıyla dışarı çıkar ve çevirme makinesinin üstüne yerleştirilmiş kısa bir oluktan akar. Bazalt ve daha az oranda bir eritme fırını cürufu Fe^{3+} ve Fe^{2+} olarak demir ihtiva eder. Kupolanın bazı bölümlerindeki indirgeme koşulları altında, ferrik/ ferruz demir metalik demire indirgenir. Bu kupolanın dibinde toplanır ve nişten aktığı noktanın üstüne birikmesine izin verilirse, pahalı çevirme makinesine zarar verir. Bunu önlemek için kupolanın kavisli zemininin en alçak noktası delinerek, demir periyodik olarak drene edilir.

Sıcak eritme kupolasında, her türlü elyafı veya tozlu malzeme kupolanın en üst bölümüne taşınır veya yatağın gözenekli yapısını olumsuz yönde etkiler ve patlama havasının akışını keser. Bu problem için kabul gören çözüm malzemeyi öğütmek ve diğer ham madde boyutlarına benzer büyüklükte briket üretmektir. Çimento briket için alışıldık bir bağlayıcıdır fakat bu durum çimento içindeki sülfür nedeniyle yüksek sülfür dioksit emisyonun yol açabilir. Ancak, briket başka avantajlar sağlar; örneğin, düşük enerji kullanımı ve yığına diğer ince malzemelerin özellikle döküm kumu gibi diğer atık maddeleri ekleyebilme.

Eriyik hızla dönen çevirme makinesinin çarkları üzerine dökülür ve elyaf üreterek ince bir püskürteç içine atılır. Elyafı inceltmek ve onları bir döşek oluşturmak üzere toplama kanalına yönlendirmek amacıyla dönen çarkların arkasından hava verilir. Sulu bir fenolik reçine solüsyonu çevirme makinesinin üzerindeki bir dizi püskürteç atomizer vasıtasıyla elyafa uygulanır. Toplama kanalı güçlü bir ekstraksiyon altındadır, bu üç işlemin yerine getirilmesini sağlar; elyafı kanal üzerine çeker, elyaf yapma odası içindeki kirli havayı yok eder ve fenolik bağlayıcının döşek boyunca dağıtılmasına yardım eder. Fenolik reçine tıpkı cam elyaf izolasyonunda olduğu gibi ürüne sağlamlık ve şekil verir. İlk mat, her bir birim alana istenilen ürün ağırlığını vermek üzere serilir. Tek bir aşamada istenilen ağırlıkta ürün üreten uzun oda şekillendirme işlemi de kullanılabilir ancak çok yaygın değildir.

Mat, ürünün kalınlığını belirleyen, ürünü kurutan ve bağlayıcıyı sertleştiren yaklaşık $250^{\circ}C$ 'de fosil yakıt kullanan bir fırından geçer. Daha sonra ürün hava ile soğutulur ve paketleme öncesi boyutlara uygun kesilir. Boru izolasyonu ve bazı ikincil ürünler bölüm 2.9.1'de cam yünü işleme için tanımlanan şekilde imal edilebilir.

Reçine ve elyaf birikimini önlemek, yangın riskini azaltmak ve baca gazından sürüklenmiş malzemeleri ortadan kaldırmak için kanaletlere su püskürtülebilir. Ayrıca çeşitli temizleme işlemlerinde de kullanılmaktadır. Cam elyaf izolasyon malzemesi üretiminde olduğu gibi işleme suyu toplanır, filtre edilir ve yeniden kullanılır.

Taş yünü, alevli fırınlar ve daldırılır elektrik arkı fırınlar kullanılarak üretilir. Elyaf yapma dahil diğer süreç işlemleri aynıdır. Taş ve cüruf yünü imalatı için kullanılan alevli fırınların tasarımı ve işleyişi temelde cam yünü imalatında kullanılan alevli fırınlara benzemektedir. Fırın, çapraz ateşlemeli veya son ateşlemeli fosil yakıt kullanan brülörler ile ısıtılan ısıya dayanıklı bir tanktan oluşmaktadır. $100\ m^2$ kadar olan eritme alanları mümkündür. Yine ham maddelerden metalik demir indirgenmektedir ve demir kılavuzluğu gereklidir, örneğin, fırının dibine yerleştirilen bir delikli yatak ile.

Taş yünü imalatı için kullanılan bir daldırılır elektrik arkı fırını, ısıya dayanıklı, dizilebilir ve yağ veya su ile soğutulan silindirik bir çelik maçadan oluşur. Elektrotlar fırının üstündeki eriyik kütleline daldırılarak dirence karşı ısıtma ile eritme için enerji sağlar. Eriyik yüzey (soğuk üst yüzey) üzerinde bir malzeme örtüsü oluşturmak üzere ham maddeler yukarıdan eklenir. Ancak, elektrot düzeni nedeniyle elektrotların çevresinde her zaman açık bir eriyik havuzu vardır. Alternatif olarak, elektrikli fırın eriyik yüzeyin (sıcak üst yüzey) yalnızca kısmen kapatılması ile çalışabilir. Grafit elektrotlar kullanılır ve sonuç olarak, az miktarda bir serbest metalik demir ham maddeden indirgenir. Demir kılavuzluğu gereklidir, fakat kupola fırınlarında olduğundan çok daha seyrek aralıklarla (hafta bir kez veya daha az).

2.10 Seramik Elyaf

[tm8 S2 3.03]

Süreç iki bölüme ayrılabilir, elyafın üretimi ve elyafın diğer bileşenlere dönüştürülmesi. Seramik elyaf için tipik kimyasal kompozisyonlar Tablo 2.9'da gösterilmektedir.

Alüminyum, kalsiyum, magnezyum, silikon ve zirkonyum oksitler büyük kara yolu tankerleri ile taşınır ve pnömatik biçimde dökme depolama silolarına aktarılır. Daha küçük hacimli ham maddeler ve organik katkı maddeleri fiçiler ve çuvalar içinde alınır ve dağıtılır. Dökme ham maddeler depolardan istenilen kompozisyonu oluşturmak için karıştırıldıkları karıştırma bölümüne nakledilir. Karıştırılan malzemeler fırına aktarılır, orada 2000oC'ye kadar olan bir sıcaklıkta elektrikli dirençli ısıtma ile eritilir. Fırınların derinliği yaklaşık 1 metre, çapları ise 2-3 metredir ve üstleri açıktır, üstleri erimemiş yığın malzemeden oluşan bir tabaka ile kaplıdır.

Bir eriyik akıntısı ya elyafı toplama odasına püskürten püskürteç üzerine atıldığı yüksek hızlı dönen çarklar üstüne akar ve ya alternatif olarak eriyik malzemeyi elyafa çeviren dönüştürüp incelten yüksek basınçlı hava jetleri önüne dökülür. Her iki durumda da elyafa bağlayıcı eklenmez ancak delmeyi kolaylaştırması için az miktarda yağlama malzemesi eklenebilir.

Eğer elyaf üretimi kesintiye uğrar ve eriyik akımı durdurulmazsa, suya batar ve uygun bir şekilde süreç içinde yeniden kullanılır.

Elyaf toplama odasından vakumun uygulanabileceği sürekli hareket halinde bir kanala çekilir. Sonuç olarak elde edilen yapıyı dinlenme kanalına çıktığında, oradan alınıp, balyalanır ve torbalanır veya battaniye üretmek için üretim hattında ilerlemesine izin verilir. Bu malzeme ürün olarak balyalanabilir veya ilave güçlendirme yapmak için elyafı birbirine tutturmak için keçeleştirilir. Keçeleştirilen ürün battaniye olarak katlanmadan önce veya ölçülü parçalar olarak kesilmeden önce yağlama malzemesinden temizlenmek üzere fırından geçirilebilir.

Daha sonraki işlem sonrası süreçlerde gerçekleştirilebilir. Vakumlu şekillendirme işlemi, kola, lateks, silika veya kilden oluşan ıslak koloidal bir karışımın uygun şekillendirilmiş kalıplar içine yerleştirilmesinden oluşur. Kalıplı şekil genellikle gaz ateşlemeli bir fırında kurutulur ve perdahlanabilir veya tıraşlanabilir ve paketlenme öncesi uygun boyutta kesilerek sevkiyatı yapılabilir. Kağıt, keçe ve karton da üretilebilir. Bunun için sulu bir elyaf süspansiyonunun vakumlu bir kasek üzerine serilmesi ve fırında kurutulması gerekmektedir. Bağlayıcılar ve katkı maddelerinden oluşan bir karışım sulu süspansiyona eklenebilir.

Bileşik	Yüksek saflıkta alüminyum silikat (%)	Zirkonyum alüminyum silikat (%)
SiO ₂	48.5 - 54	47.5 - 50
Al ₂ O ₃	45.5 - 50.5	35 - 36
K ₂ O	< 0.01	<0.01
Na ₂ O	0.2	<0.03
MgO	<0.01	0.01
CaO	<0.05	<0.05
TiO ₂	0.02	0.04
ZrO ₂	0.2	15 - 17
Fe ₂ O ₃	<0.2	<0.05
Cr ₂ O ₃	<0.01	<0.01

Tablo 2.9: Ağırlık yüzdesine göre tipik ısıya dayanıklı seramik elyafın kimyasal kompozisyonu

2.11 Fritler

[tm8 S2 3.03, tm46 ANFFECC]

Frit, ham maddelerin yüksek sıcaklıkta eriticiler içinde eritilmesi ile hazırlanır. Eriyik malzeme daha sonra suya batırılır, böylece eriyik hızla katılaşır ve frit olarak adlandırılan kırılğan partiküllere ayrılır. Cam frit seramik camı üretiminde ham madde olarak kullanılır. Bu seramik bir cisme uygulanan vitröz bir kaplamadır ve ısı uygulanması ile eritilir. Aynı şekilde, enamel frit enamel üretiminde kullanılan bir ham maddedir. Bu madde metallere dekoratif ve/veya koruyucu amaçlarla uygulanır. Parlaticılar ve enameller kuru veya ıslak olarak uygulanabilir, ıslak uygulama daha yaygındır ve genellikle çamur veya bulamaç biçimindedir.

Frit yapma süreci, suda eriyebilen ham maddeleri çözünmez bir cam halinde kaynaştırır, böylece sonraki işlemler sırasında parlaticı veya enamel süspansiyonu içinde eşit oranda dağılan bu malzemeleri saklamak daha kolay hale gelir. Ayrıca, parlaticı veya enamel imalatında kullanılan bazı ham maddeler hem toksik hem de çözülebilir durumdadır. Bu malzemelerin çözünmez cam haline dönüştürülmesi toksik maddelerin çözülmesini en aza indirger ve böylece çevreye yayılma potansiyellerini azaltır.

Cam ve enamel frit imalatında kullanılan ham maddeler esasen aynıdır. Bu maddeler dört farklı gruba ayrılabilir, refraktör, akı, opaklaştırıcı ve renklendirme unsurları. Refraktörler kil, feldispat ve kuartz gibi malzemeleri ihtiva eder. Bunlar karakter olarak genellikle asidiktir ve frit için madde temin eder. Akılar karakter olarak baziktir ve cam oluşturmak için asidik refraktörler ile tepkimeye girer. Bunlar da soda külü, potas, boraks, kriyolit ve fluorspat gibi malzemeler içerir.

Opaklaştırıcı pek çok enamelin özelliği olan beyaz opak bir görüntü sağlar. Titanyum dioksit, kalay oksit ve zirkonyum oksit gibi veya kriyolit veya fluorspat gibi devitrifikasyon opaklaştırıcıları gibi çözünmezdir. Devitrifikasyon opaklaştırıcıları enameli daha kolay eriri hale getirerek akı gibi davranabilir. Opaklaştırıcılar her zaman frit yapma aşamasında eklenmez ancak bunun yerine çamur üretme aşamasında eklenebilir. Renklendirme unsurları oksitler, elementler veya tuzlar olabilir. Renklendirme özelliklerinin yanı sıra refraktör veya akı gibi davranabilirler ve kobalt oksit, krom oksit ve mangan oksit gibi malzemeler içerebilirler.

Ham maddeler silolarda depolanabilir ve pnömatik biçimde veya mekanik olarak tartım alanlarına nakledilebilir. Ancak, bazı imalatçıların nispeten küçük ölçekli olmasından dolayı pek çok malzeme çuvallarda saklanır ve tartım aracına manuel olarak yerleştirilir. Çeşitli ham maddeler net olarak tartılır ve fırına boşaltılmadan önce hem kimyasal hem de fiziksel olarak tek tip bir yığın oluşturmak için karıştırılır.

Frit sanayi hem kesintisiz fırınlardan hem de aralıklı yığın fırınlarından faydalanır. Fırın seçimi üretimin boyutuna ve ürün formülasyonuna bağlıdır. İşin doğası uyarınca, çok çeşitli frit formülasyonları için üretilecek küçük yığınlar için bu yaygın bir durumdur. Frit fırınları genellikle doğal gaz veya benzin ateşlemeli fırınlardır ve Avrupa'daki en modern frit tesisleri oksi-akaryakıt ateşleme kullanmaktadır.

Kesintisiz fırınlarda ham maddeler vida-besleyiciler yoluyla boşaltılmaktadır ve boşaltım noktasında bir yığın oluşturmaktadır. Kenarlara yerleştirilen brülörler, yığının yüzeyinin sürekli erimesi için uygun istikrarlı sıcaklık koşullarını sağlar. Küçük kesintisiz fırınlar tek brülörlü son ateşlemeli olabilir. Malzemeler eridikçe, fırının tabanında sıkı bir katman oluşturur ve akarak diğer uçta ortaya çıkar. Girişteki ham madde yığınının sürekli beslenmesi nedeniyle üretim sabit kalır. Eriyik frit ince bir tabaka oluşturmak için doğrudan bir su havuzuna bastırılabilir veya su ile soğutulan silindirler arasında soğutulabilir.

Aralıklı yığın fırınları kutu şeklindedir veya silindirik ısıya dayanıklı sıralı araçlardır, belli düzeyde bir dönüş sağlamak için taşıyıcı ayaklar üzerine monte edilmektedir. Eritme işlemleri arasında fırınları arıtmak mümkün olsa bile, kontaminasyonu önlemek için bu tür fırınlar normal olarak benzer tipteki formülasyonlara adanmaktadır. Ham maddeler fırının üstündeki bir girişten boşaltılmaktadır ve bu işlem kısa vadeli yüksek düzeyde parçacıklı madde emisyonu ile sonuçlanabilir. Doğrudan suya verme özellikle yığın imalatında kullanılmaktadır ve verilen su parçacıklı madde ve eriyikten gelen her hangi bir çözülebilir bileşik ile kirlenebilir.

Yüksek kurşun ihtiva eden fritler için düşük sıcaklıklar kullanılsa bile, fırındaki sıcaklıklar tipik olarak 1000°C ila 1500°C arasında yer almaktadır. Eritme işlemi sırasında metal dumanı ve diğer partiküller oluşabilir. Fırında kalma süresi tipik olarak 4 saatten daha azdır.

Uzun bir parça üretmek için, frit öncelikle incecik öğütülmelidir. Öğütme işlemi genellikle alüminyum toplardan oluşan top şeklindeki değirmenlerde veya su içinde çakıl taşları ile gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, kil, renkler, elektrolitler ve opaklaştırıcılar gibi parlatici veya enamel bileşenleri öğütme döngüsü içinde istenilen her hangi bir aşamada eklenebilir. Öğütme işlemi süresi 6 ila 16 saat arasında değişebilir. Öğütme işleminin tamamlanmasının ardından karıştırılan çamur döküntü demirden temizlenmek için bir örgütel elek ile bir mıknatıs üzerine elenir. Kuru ürünler için sonuçta elde edilen çamur kurutulabilir veya kuru bir öğütme işlemi kullanılabilir.

3 MEVCUT TÜKETİM VE EMİSYON SEVİYELERİ

3.1 Giriş

Bu bölüm, Bölüm 2’de açıklanmış olan süreçler ve teknikler kapsamında Cam Endüstrisinde karşılaşılan tüketim ve emisyon seviye oranları hakkında bilgi sağlamaktadır. Endüstriye yönelik girdi ve çıktılar bir bütün olarak ele alınmış olup her sektör daha ayrıntılı biçimde işlenmiştir.

Ana emisyon özellikleri, emisyon kaynakları ve enerji ile ilgili konular bu bölümde tanımlanmakta ve Bölüm 4’te her teknik için ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Bu bölümdeki bilgiler izin bekleyen herhangi bir tesis için emisyon ve tüketim öğelerine yol açmak, aynı sektör içinde veya bütün olarak Cam Endüstrisinde diğer süreçler karşısında içeriği dahilinde gözlemlenmesine yöneliktir. Cam Endüstrisi için gerekli ham maddelerin çoğunluğu doğal olarak oluşan mineraller veya insan yapımı organik olmayan maddelerdir.

Kullanılan minerallerin çoğu doğal olarak oluşmakta ve genelde bu maddelerin tedariki hakkında hiçbir büyük çevre konusu bulunmamaktadır. Ancak, IPPC Direktifi düşüncelerinden biri ham maddelerin tüketimini MET ile orantılı olarak azaltmaktır. İnsan yapımı ham maddeler genellikle ayrı düzenlemeler tabi endüstrilerde imal edilmektedir. Süreç sonrası artıkları ve gelecek tüketici maddeleri Cam Endüstrisi için özellikle Cam kap ve Amyant Sektörleri için ham maddeler kadar önem kazanmaktadır.

Bir bütün olarak Cam Endüstrisi için temel çevresel kaygılar atmosfere yapılan emisyonlar ve enerji tüketimidir. Cam yapımı yüksek ısı ve enerji yoğunluklu bir süreçtir ve doğrudan enerji fosil yakıtlarının yanması, elektrik ile ısı oluşturma ve ya bu her iki tekniğin birleşimiyle sağlanmaktadır. Genelde, en önemli emisyonlar, azot oksitleri, partikül maddeleri, sülfür dioksit, halide ve bazı durumlarda metalleri içermektedir. Su kirliliği, her ne kadar istisnalar bulunsun da, cam endüstrisi dahilindeki çoğu tesis için önemli bir konu değildir. Su, temelde temizlik ve soğutma için kullanılmaktadır ve genelde hazırda bulundurulur veya tekrar kullanılır. Süreç atık seviyeleri, süreç dahilinde geri dönüştürülen çoğu katı atık buharları ile oldukça düşüktür. Cam Endüstrisi oldukça çeşitlidir ve yukarıdaki özetin çok geniş bir genelleme olduğu açıktır.

Belli işleme seçenekleri ve özel işletmeler için istisnalar bulunmakta ve çevresel öncelikler sektörler arasında değişiklik göstermektedir. Belli bir sektöre özgü bu istisnaların olduğu durumlar için, bunlar ilgili bölümlerde tartışılmıştır. Ancak, tüm işletmeler için bütün ihtimalleri kapsamak imkansızdır ve bu belgede üzerinde durulmamış belli emisyonlara belli tesislerde rastlanabilir. Bu sebeple, bu belgede verilen süreç emisyonları hakkındaki bilgi geniş kapsamlı bir bilgi olarak düşünülmemelidir. Bu bölümde sunulan bilgi işletme büyüklükleri ve işlemlerin tüm sahaları ile bağlantılıdır ancak başlat ve kapat gibi özel biçimleri kapsamamaktadır. En düşük emisyon değerlerinden bazıları, bu seviyelere bölgeye özgü nedenler dolayısıyla ulaşmış sadece bir işletmenin işletimi ile bağlantılıdır ve sonuçlar sektör için MET’in bir göstergesi olmak zorunda değildir. Emisyonlar sektörler arası ve bireysel tesisler arası büyük oranda farklılık göstermektedir. Ana faktörler: her sektör için ham madde ve ürünlerdeki farklılıklar; süreç seçimi (özellikle eritici seçeneği); süreç ölçeği, uygulanmış azaltma derecesidir.

Farklı sektörler ve tesislerden yapılan emisyonlar düşünüldüğünde, emisyon yoğunluklarına ek olarak, salınan herhangi bir maddenin tüm miktarı ve ürün veya eriyiğin ton başına salınan kütlesi üzerinde durmak da önem teşkil etmektedir. Bu bölümde verilen emisyon bilgilerinden bazıları oldukça geneldir ve oldukça geniş sahaları kapsamaktadır. Bu sahalar temsilen verilmiştir ancak üzerinde düşünülen belli bir tesis ile karşılaştırma yapmak için gerekli detayları da muhakkak sağlamaktadır.

Bu nedenle, verilen sahaları geniş olarak temsil eden veya belli bir tesiste performansın örneklerini gösteren örnek olay incelemeleri Ek 1’de sunulmuştur..

3.2 Cam Endüstrisine Genel Bakış

Bu bölüm, Cam Endüstrisinde çoğu süreç ve sektörde genel olan bu konuların niteliksel tartışmasını vermektedir. Her sektörle ilgili belli konular, mümkün olduğu yerde, tüketim ve emisyon seviyeleri için niceliksel bilginin verildiği sonraki bölümlerde ele alınmıştır. Salınan maddelerin oluşum mekanizmalarının ve emisyon seviyelerine etki eden faktörlerin daha detaylı bilgisi Bölüm 4'te, uygun görüldüğü yerde verilmiştir.

3.2.1 Süreç Girdileri

Ana süreç girdileri dört ana kategoriye ayrılabilir: ham maddeler (ürünün bölümünü oluşturan malzemeler), enerji (yakıtlar ve elektrik), su, ve yardımcı malzemeler (işleme yardımları, temizleme malzemeleri, su tedavi kimyasalları, v.b.). Enerji meseleleri, ayrı olarak Bölüm 3.2.3'te ele alınmıştır. Belge genelinde tanımlanan Cam Endüstrisi; geniş bir ürün, ham madde ve işleme seçenekleri çeşitleriyle birlikte birçok farklı süreci kapsamaktadır.

Bu türden bir belgenin ve hatta sektöre özgü bölümlerin dahi, tüm süreç girdilerini içermesi imkansızdır. Bu sebeple, bu belge endüstri dahilinde en genel olan ve çevreye en büyük etkide bulunan girdiler üzerinde yoğunlaşmıştır. Cam Endüstrisi ham maddeleri, ya doğal olarak oluşan mineraller ve ya insan yapımı ürünler olarak genelde katı, organik olmayan bileşenlerdir. Bunlar, iri taneli malzemelerden iyice bölünmüş tozlara kadar değişim göstermektedir.

Aynı zamanda, sıvılar ve gazlar hem yardımcı malzeme hem de yakıt olarak büyük ölçüde kullanılmaktadır. Tablo 3.1 cam üretiminde kullanılan en genel ham maddeleri listelemektedir. Potansiyel ham maddelerin geniş çeşitliliği nedeniyle, bu tablo geniş kapsamlı değil sadece gösterici olarak gözlemlenmelidir. Ürün oluşumunda ve diğer akım aşağı faaliyetlerinde kullanılan ham maddeler (örn. kaplama ve tutkallar) her sektöre göre daha özeldir ve ileriki bölümlerde tartışılmaktadır. Erime için devamlı önem kazanan bir ham madde, süreç azaltma sistemlerinden elde edilen geri dönüştürülmüş tozdur. Tozun bileşimi sürecin yapısına veya herhangi bir absorbanın kullanılıp kullanılmadığına bağlıdır..

Ham Madde	Form	Açıklama	Kaynak/Yorumlar
Cam yapıcı materyaller			
Silis kumu	Granüler	Ana SiO ₂ kaynağı	Katışıklıkların yok edilmesi için sonradan ezilip öğütülecek olan ya granüler kum ya da kumtaşı olarak taş ocağından çıkarılır. Yüksek katışiksızlık gerektirir.
Proses Cam Kırıntısı	Granüler	Cam	İmalat sürecinden geri dönüştürülen cam. Cam terkibi imal edilen cam ile aynıdır.
Tüketici Sonrası Cam Kırıntıları	Granüler	Cam	Toplama şemalarından geri dönüştürülen cam. Kırıntı saflığı ve renk homojenliği değişken olabilir.
Ara ve değiştirici materyaller			
Nefelin Siyenit Na ₂ O.K ₂ O.Al ₂ O ₃ . SiO ₂	Granüler	Temiz camda ana alüminyum oksit kaynağı.	Fırından çıkarılır, ezilir ve tesviye edilir. Demir içeriği düşüktür. Dünyada iki ana kaynağı Norveç ve Çin ayrıca Kanada'dır.
Sodyum Karbonat (Soda külü – Na ₂ CO ₃)	Granüler	Ana Na ₂ O kaynağı	Avrupa'da Solvay süreci kullanılarak doğal tuzdan imal edilir, ve bu nedenle bir miktar NaCl içerir. Ayrıca ABD'den ithal edilen doğal sodyum karbonat. Avrupa'da nadiren kullanılan Afrika kaynakları.
Kireçtaşı (CaCO ₃)	Granüler	Ana CaO kaynağı	Taş ocağından çıkarılan/kazılan, ezilen ve tesviye edilen doğal malzeme. Taşyünü sektöründe kireçtaşı genellikle 50 mm çapından büyük parçalar halinde kullanılır.
Dolomit (CaCO ₃ .MgCO ₃)	Granüler	CaO ve MgO kaynağı	Taş ocağından çıkarılan/kazılan, ezilen ve tesviye edilen doğal malzeme. Taşyünü sektöründe dolomit genellikle 50 mm çapından büyük parçalar halinde kullanılır.
Potasyum Karbonat	Granüler	K ₂ O kaynağı	Özel camda kullanılır (kurşun kristal, TV camı, vb). Sentetik ürün.
Kolemanit	Toz	Boron kaynağı.	Sürekli cam filamentlerinde kullanılan Türkiye kaynaklı doğal borat.
Boraks	Granüler	Boron kaynağı	Çoğunlukla Kaliforniya'dan sentetik sodyum borat.
Borik Asit H ₃ BO ₃	Granüler	Boron kaynağı.	Sürekli cam filamentlerinde kullanılan sentetik ürün.
Feldspar	Granüler	Al ₂ O ₃ kaynağı	Renkli soda-kireç camındaki alüminanın ana kaynağı. Doğal ürün.
Fluorspar CaF ₂	Granüler	Florin kaynağı.	Çoğunlukla opal camlarda kullanılan doğal ürün.
Kurşun Oksitler	Toz	PbO kaynağı.	Kurşun kristal cam ile özel camlarda kullanılan PbO taşıyıcıları.
Baryum Karbonat	Granüler	Baryum oksit BaO kaynağı	Çoğunlukla özel camda kullanılan imal ürünü.
Bazalt	Granüler	Alumino-silikat	Taşyününde genellikle 50 mm çapından büyük parçalar halinde kullanılır.
Anhidroz Sodyum Sülfat	Granüler	Rafine ve oksitleyici ajan, Na ₂ O kaynağı	İmal ürünü
Kalsiyum Sülfat ve Alçıtaşı	Granüler	Rafine ve oksitleyici ajan, CaO ikincil kaynağı	Doğal malzeme veya imal ürünü
Arı kil	Toz	Alumina kaynağı.	Sürekli cam filamentlerinde kullanılan doğal ürün.
Sodyum Nitrat	Granüler	Rafine ve oksitleyici ajan, Na ₂ O kaynağı	İmal ürünü
Potasyum Nitrat	Granüler	Rafine ve oksitleyici ajan, K kaynağı.	İmal ürünü
Antimon Oksit	Toz	Rafine ve oksitleyici ajan	Çoğunlukla özel cam formülasyonlarına kullanılan imal ürünü.
Arsenik Trioksit	Toz	Rafine ve oksitleyici ajan	Çoğunlukla özel cam ve kurşun kristal formülasyonlarına kullanılan imal ürünü.
Cüruf	Granüler	Alüminyum oksit kaynağı , modifiye oksitler, rafine ajanlar, fluks ve renklendirme türleri	Yüksek fırın yan ürünü. Partikül boyutu cam ham maddesine uygun ayarlanmalıdır

Ham Madde	Form	Açıklama	Kaynak/Yorumlar
Mixed Ca, Al, Mg, Fe silikat ve sülfür			
Karbon	Granüler veya toz	Azaltıcı ajan	İmal veya işlenmiş doğal ürün, yeşil, amber ve bazen berrak cam imal ederken azaltılmış oksidasyon durumunda cam üretiminde kullanılan az miktar.
Sodyum klorid	Kristal	İnceltme ajanı	Bazı borosilikat camlarında kullanılır.
Renklendirme ajanları			
Demir Kromit (Fe ₂ O ₃ .Cr ₂ O ₃)	Toz	Renklendirme ajanı	Fırından çıkarılır, ezilir ve tesviye edilir. Demir kromit yeşil cam kap imalatında kullanılan renklendirme ajanıdır
Demir Oksit (Fe ₂ O ₃)	Toz	Renklendirme ajanı	Yeşil ve amber camlarda esasen renklendirme ajanı olarak kullanılan imal ürünü.
Kobalt Oksit	Toz	Renklendirme ajanı	Mavi cam imalatında hem renk silici hem de renk verici olarak kullanılan imal ürünü.
Selenyum metal/çinko veya sodyum selenit	Toz	Renklendirme ajanı	İmal ürün, ayrıca iz miktarları “renk silici” olarak kullanılır (renk düzeltici). Çok miktarda bronz cam için kullanılır.

Tablo 3.1: Cam Endüstrisinde kullanılan yaygın ham maddeler [tm18 CPIV]

Bir bütün olarak Cam Endüstrisi, temel kullanımları soğutma, temizleme ve toplu nemlendirme olmak üzere önemli bir su tüketicisi değildir. Bazı sektörler suyu öteki amaçlarla kullanırlar ki bunlar sektöre özel bölümlerde ayrıntılarla ele alınacaktır. Mümkün mertebe, su devreleri buhar kayıplarının telafisi ile birlikte kapalı döngülerdir. Su ya ana şebeke kaynağından yada doğal kaynaklardan alınabilir.

Yan malzemeler terimi ürünlerin imalatında kullanılan ancak nihai ürünün bir parçasını teşkil etmeyen maddeleri açıklamada kullanılır. Örneğin, yüzdürme cam banyolarında kullanılan kalay ve hidrojen, düz cam (ve bazen de konteynır cam) yüzey arıtmadaki kükürt dioksit ve kurşun kristal üretiminde kullanılan kesme parçaları ve cilalama asitleri. Bu malzeme türleri genellikle her bir sektöre özgü olup daha sonraki bölümlerde ele alınacaktır. Bu malzemelerin proses emisyonları üzerindeki etkileri durumdan duruma değişiklik gösterir. Bazıları oldukça önemli iken (örneğin asitle cilalama) diğerlerinin önemi çok daha azdır (örneğin; yüzdürme havuzlarından kalay emisyonları gibi).

Cam yapımı enerji yoğun bir süreçtir ve bu nedenle de yakıtlar süreçlere önemli bir girdi teşkil ederler. Cam Endüstrisindeki ana enerji kaynakları fuel oil, doğal gaz ve elektriktir. Enerji ve yakıt konuları Kısım 3.2.3’de ve sektöre özel kısımlarda ele alınacaktır.

3.2.2 Süreç Çıktıları

Temel süreç çıktıları beş ana kategoriye ayrılabilir: ürün, hava emisyonları, sıvı atık akımları, katı süreç artıkları ve enerjidir. Sıvı ve katı atık akımları sürece özgü konulara bağlı olarak geri dönüştürülebilir veya atılabilir. Genelde, cam tesisleri önemli yan ürün veya ek ürün zincirlerine sahip değildir. Ancak, aksi taktirde satılabilir (veya maliyetsiz) bir forma dönüştürülecek bir atık zinciri olarak atılacak malzeme için, diğer süreçlere yönelik hammadde yada son ürün olarak kullanılacak malzemeler için gittikçe daha fazla yaygın hale gelmektedir.

Genelde, cam yapımı metal oksit, karbonat, sülfat ve nitrat gibi önemli kütledeki materyallerin eritilmesini kapsar. Eritilmeleri durumunda bu maddeler çözülür ve karbon oksit, su buharı, kükürt ve azot oksitleri gibi gazları yayarlar. Yığın materyalleri ayrıca nem de içerir (fiziksel yada kimyasal içerikli olarak % 0 ile 4 arasında) ve materyal ısıtılınca su buharı yayılır. Genelde yığın ağırlığının % 3 ile % 20 arası gaz olarak yayılabilir. Yüksek seviyede cam kırıntısı (cullet) kullanılması halinde ortaya çıkan tablo belirtilen menzilin alt ucunda olacaktır (1 ton cam kırıntısı yaklaşık 1.2 ton ham işlenmemiş malzeme ile ikamedir)

Süreçlerden kaynaklı diğer çıktılar arasına ses ve konu da dahildir. Ses; fanlar, motorlar, malzeme taşınması, vasıtaların hareketleri, mühendislik faaliyetleri ve sıkıştırılmış hava sistemleri gibi bir dizi faaliyetten kaynaklanır. Ses Cam Endüstrisinde özel bir sorun kabul edilmez. Ancak ses kaynakları açıkça mevcut olup yakın çevredeki iskan işlerinin gelişimi ile ilgili sorunlara sebebiyet verebilir. Genelde, tüm sorunlar iyi tasarım ve gerekli hallerde ses azaltım teknikleri ile kolayca halledilir. Belirli kirlilik kontrol teknikleri de ayrıca tekniğin toplam maliyetine ilave edilebilecek ses kontrolünü gerektirir. Koku genellikle Cam Endüstrisinde bir sorun olarak ortaya çıkmaz ancak kokular çeşitli faaliyetlerden kaynaklanır ve saha dışındaki sorunların önlenmesini gerektirir. Koku sorunları ile ilişkili olabilecek ana faaliyetler amyant tavlama, cam kırıntısı ön ısıtma ve bazen de yağ depolamadır..

3.2.2.1 Hava Emisyonları

Ham maddeler

Cam Endüstrisindeki sektörlerin tümü toz haline getirilmiş, granüler veya tozlu ham maddelerin kullanımını kapsar. Bu materyallerin depolanması ve taşınması toz emisyonlarına yönelik önemli bir potansiyel teşkil eder. Silolar ve harmanlama kanallarını içeren sistemler vasıtasıyla materyallerin taşınması havanın bir yerden başka bir yere taşınmasına sebebiyet verir ki bu olay kontrolsüz gerçekleşirse yüksek toz toplanmalarını ihtiva edebilir. Bu durum özellikle pnömatik aktarım sistemlerinin kullanıldığı durumlarda doğrudur. Taşıma sistemleri ve elle taşıma ile malzemelerin taşınması da ayrıca ciddi toz emisyonlarına neden olabilir.

Cam Endüstrisindeki birçok süreç fırında kullanılmadan önce sınıflama ve ezme işlemi gerektiren cam kırıntısı (dahili veya harici) kullanımını kapsar. Benzer tüm süreçlerde olduğu gibi burada da toz emisyonu potansiyeline sahip olunması söz konusudur. Emisyon seviyeleri tesis tasarımı, tahliye öncesinde çıkarım filtrelenecekse binaların ne kadar iyi kapatıldığı gibi etmenlere bağlıdır. Bazı süreçler ayrıca uçucu sıvıların kullanımını kapsar ki bu ise depo soluma kayıpları ve sıvı aktarımı sırasında buhar yer değişiminden kaynaklı hava emisyonlarına neden olur.

Eritme

Bu belgenin kapsamına giren süreçlerin birçoğu için çevre kirliliğine yönelik en büyük potansiyel eritme faaliyetlerinden kaynaklanır. Genelde, eritme işleminden kaynaklanan temel çevresel kirleticiler şunlardır:

- Fosil yakıtların yakılmasından ve yakma atmosferindeki nitrojenin yüksek sıcaklıkta oksitleştirilmesinden ortaya çıkan ürünler (örneğin; kükürt dioksit, karbon dioksit ve azot oksitleri),
- Temelde uçucu yığın materyallerin buharlaştırılması ve daha sonra yoğunlaşmasından kaynaklanan partiküler madde ve
- Ham maddelerden yayılan ve eritme süreçlerinden eritilen gazlar

% 100 elektrik ısıtması kullanıldığı hallerde yakma ürünlerinden kaynaklanan emisyonlar ve termal olarak üretilen NOx temizlenir ve partikül emisyonları ilke olarak yığın taşınımından ortaya çıkar. Fosil yakıt ateşlemenin elektrik ısıtması ile kısmi yer değiştirilmesi bu yer değiştirme işleminin düzeyine ve partiküler yakma koşullarına bağlı olarak kurulumdan kaynaklı direkt emisyonları azaltır. Oksijen – yakıt ateşlemesi fırındaki azot seviyesini önemli ölçüde azaltır ve buna bağlı olarak NOx oluşumu potansiyelini de azaltır. Genellikle elektrik ile oksijen üretimi ile ilişkili sahadan kaynaklı emisyonlar bulunur ki toplam çevresel etki değerlendirilirken bunların göz önünde bulundurulması gerekir.

Cam Endüstrisinde ve her sektör içerisinde karşılaşılan fırınlar ebat, üretilen iş, eritme tekniği, tasarım, yaş, kullanılan ham madde ve uygulanan azaltım teknikleri bakımından önemli ölçüde değişiklik gösterir. Bu nedenle rapor edilen emisyonlarda önemli ölçüde farklılıklar vardır. Ayrıca emisyon ölçümleri için kullanılan metodolojilerde de ciddi farklılık bulunur ve bu durum bazı fiili verilerin doğrudan karşılaştırılmalarının yanıltıcı olmasına neden olabilir. Asgari değerler her zaman en iyi teknolojinin göstergesi değildir ve sadece daha iyi işletme koşullarını (örneğin; yüksek hacimli istikrarlı üretim veya düşük emisyon terkipleri) veya düşük çıkışlı tesisleri yansıtabilir. Açıkçası düşük salınımların çoğu ileri azaltma tedbirleri olan veya “temiz” teknolojilere sahip modern tesisleri temsil eder. Cam Endüstrisindeki eritme faaliyetlerinden ortaya çıkan ana emisyonlar aşağıdaki Tablo 3.2’de özetlenmiştir.

Emisyon	Kaynak / Yorumlar
Partiküler madde	Uçucu harman bileşiklerinin yoğunlaşması. Harmandaki ince malzemenin taşınması. Bazı fosil yakıtı yakma ürünleri.
Azot Oksitler	Yüksek eritici sıcaklıkları nedeniyle termal NOx. Harman materyallerindeki azot bileşiklerinin ayrışması. Yakıtlardaki nitrojenin oksidasyonu.
Kükürt Oksitler	Yakıttaki kükürt. Harman materyallerindeki kükürt bileşiklerinin ayrışması. Sıcak yüksek kupola işlemlerinde hidrojen sülfidinin ayrışması.
Kloridler/HCl	Özellikle yapay imal sodyum karbonat ve harici kırıntılar gibi bazı ham maddelerde bir katışıklık olarak mevcuttur. NaCl bazı özel camlarda ham madde olarak kullanılır.
Floridler/HF	Harici kırıntı da dahil olmak üzere bazı ham maddelerde önemsiz katışıklık olarak mevcuttur. Bitmiş ürüne bazı özellikler kazandırmak amacıyla enamel frit üretiminde ham madde olarak ilave edilir. Erimeyi geliştirmek veya örneğin opalesens gibi camda belirli özellikler üretmek amacıyla bazı cam harmanlarına ve sürekli filament elyaf endüstrisinde ham madde olarak ilave edilir. Tipik olarak fluospar olarak floridler harmana ilave edildiğinde kontrolsüz salınımlar çok yüksek olabilir.
Ağır metaller (örneğin V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	Tüketici sonrası kırıntılar ve yakıtlar gibi bazı ham maddelerde önemsiz katışıklık olarak bulunur. Frit endüstrisinde (çoğunlukla kurşun ve kadmiyum) fluks ve renklendirme ajanları olarak kullanılırlar. Bazı özel cam formülasyonlarında (örneğin kurşun kristal ve bazı renkli camlar) kullanılırlar. Selenyum renklendirici (bronz cam) veya bazı berrak camlarda renk silici olarak kullanılır.
Karbon Dioksit	Yakma ürünü. Harman materyallerindeki karbonatların ayrışmasından sonra yayılır (örneğin soda külü, kireçtaşı).
Karbon Monoksit	Özellikle sıcak yüksek kupolalarda yarım yanma ürünü.
Hidrojen Sülfid	Fırının bazı bölümlerinde azaltıcı koşullar nedeniyle yüksek kupola fırınlarındaki yakıt kükürdü veya ham maddeden oluşur.

Tablo 3.2: Eritme faaliyetlerinden kaynaklanan atmosfer emisyonlarının özeti

Ağır metal ve iz element emisyon konsantrasyonları bazı süreçlerde ciddi olabilir ve genellikle tozda mevcuttur. Aşağıdaki Tablo 3.3 [tm41 VDI2578]’den alınmıştır ve bazı gerçek örnekleri ortaya koyar. Aşağıdaki rakamlar genellikle azami rakamları göstermesi açısından alınmış olup MET kullanımının göstergesi sayılmazlar.

Metal	Konteynır Cam	Düz Cam	Kurşun Kristal Cam
Vanadyum (fuel oil yakarken)	4 mg/Nm ³ 'e kadar	2 mg/Nm ³ 'e kadar	
Nikel (fuel oil yakarken)	0.5 mg/Nm ³ 'e kadar	0.4 mg/Nm ³ 'e kadar	
Kromiyum (yeşil cam)	3 mg/Nm ³ 'e kadar		
Selenyum	1 mg/Nm ³ 'e kadar		
Selenyum, gazlı (boşluklu cam)	14 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

Tablo 3.3: Cam süreçlerinden kaynaklı potansiyel ağır metal emisyonları
[tm41 VDI2578]

Ek Üretim Faaliyetleri

Bu terim tavlama, kaplama, işleme vb. gibi eritme sonrası yüklenilen faaliyetleri açıklamak için kullanılan bir terimdir. Ek üretim faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar farklı sektörler arasında ciddi derecede farklılık gösterir ve sektöre özgü kısımlarda ele alınmıştır. Sektörlerin çoğu birtakım benzer eritme tekniklerini paylaşıyor olsalar dahi ek üretim faaliyetleri ayrı olarak her bir sektöre münhasır olma eğilimindedir. Genel anlamda hava emisyonları aşağıdakilerden kaynaklanır:

- Kaplama uygulaması ve/veya kurutma (örneğin amyant, sürekli filament cam fiber, konteynır cam ve bazı düz cam);
- Kesme, cilalama veya ikincil işleme (örneğin amyant, evsel cam, özel cam, seramik fiber) gibi üretilen materyaller üzerinde gerçekleştirilen faaliyetlerden kaynaklananlar ve
- Bazı ürün oluşturma işlemlerinden (örneğin; amyant ve seramik fiber) kaynaklananlar.

3.2.2.2 Su Emisyonları

Genel olarak su ortamına salınan emisyonlar nispeten daha düşüktür ve bu hususta Cam Endüstrisine özgü çok az önemli konu mevcuttur. Su genelde temizleme ve soğutma amaçlı kullanılır ve standart teknikler kullanılarak kolaylıkla işleme tabi tutulur veya geri dönüştürülebilir.

Çoğu faaliyetlerde sadece su arıtım kimyasalları ve yağlayıcılar veya fuel oil olsalar dahi bazı sıvılar kullanılır. Tüm sıvı ham maddeler dökülme veya muhafazaya alma başarısızlığı nedeniyle çevreye potansiyel bir tehlike teşkil eder. Çoğu durumda temel iyi uygulama ve tasarım herhangi bir potansiyel emisyonun kontrol edilmesi için yeterlidir. Aköz emisyonlar ile ilgili özel konular sektöre özgü kısımlarda ele alınacaktır.

3.2.2.3 Diğer Atıkların Emisyonları

Cam Endüstrisi sektörlerinin çoğunun özelliği dahili üretilen cam atığının büyük çoğunluğu yeniden fırına gönderilip çevrime alınır. Bu hususta temel istisnalar Sürekli Filament Sektörü, Seramik Fiber Sektörü ve Özel Cam ve Evsel Cam Sektörlerindeki çok kaliteli hassas ürünlerin üreticileridir. Amyant ve Frit Sektörleri bazı taş yünü tesislerine yönelik sıfır ile hemen hemen % 100 arasında değişerek fırına gönderilip yeniden çevrime alınan atık miktarındaki geniş çaplı varyasyonu ortaya koyar. Diğer atık üretimi atık madde hazırlama ve taşınması, atık gaz kanalı tortuları (genellikle sülfat) ve fırının sonu noktasındaki atık erimez materyallerden kaynaklanan atıkları kapsar.

Cam Endüstrisinin bazı sektörlerinde krom içeren refrakterler üst duvar, taç ve rejeneratör yapımında kullanılır. Magnezyum-krom bileşimi tuğlalar oluşturmak için magnezyumla birleşen krom rejeneratör odalarında mevcut olan yüksek sıcaklıklardaki yığın transferi ve yakma sonrası ürünlere çok dayanıklıdır. Bu materyallerin hazırlanmasında kullanılan krom, Cr ³⁺ esasen tehlikeli olmakla birlikte düşük çözünürlüğe sahip olup çok az risk teşkil eder. Ancak alkalın ve oksitleyici koşullar altındaki yüksek sıcaklıklarda az miktarda krom fırın işlemi sırasında Cr 6+'ya dönüşür. Cr 6+ bileşikleri yüksek derecede çözünür, zehirli ve kanserojendir.

Tüm fırın atıkları ile birlikte fırında kalan atıkların geri dönüştürülmesi için tüm imkanlar kullanılır. Bunun mümkün olmadığı hallerde kullanılan mag-krom refrakterlerinin Cr 6+ içeriği doğru sınıflandırıldıklarını ve gereği gibi tahliye edildiklerinin temin etmek üzere belirlenir. Endüstri geliştirme ve yeniden tasarlama ile krom içeren refrakter miktarını kademeli olarak azaltmaktadır.

Küçük yüksek saflıkta kromik oksit refrakter tonajları da kullanılabilir. Bunlar genellikle kampanya sonunda geri dönüşüm amacıyla imalatçı tarafından geri alınma esasına göre satın alınırlar. Bazı sürekli cam filament fırınlarında bu materyallerden yüksek miktarlarda kullanılır.

3.2.3 Enerji [tm14 ETSU, tm18CPIV]

Cam yapımı enerji yoğun bir süreç olup enerji kaynağı, ısıtma tekniği ve ısı geri kazanım metoduna yönelik tercihler fırın tasarımında merkezi bir rol oynar. Aynı tercihler eritme işleminin enerji verimliliğini ve çevresel performansını etkileyen çok önemli faktörlerin bazılarıdır. Bu nedenle cam yapım işleminin en önemli girdilerinden biri enerji ve üç temel enerji kaynağı ise fuel oil, doğal gaz ve elektriktir. Buna istisna olarak baskın eritme tekniğinin yakıt olarak kok kullanan yüksek fırın kupola ocağı olduğu taş yünü imalatıdır.

Geçmiş on yıllık süre zarfında, cam yapımında hakim yakıt, doğal gaz kullanımının artıyor olmasına rağmen fuel oil olmuştur. Saflık ve kükürt içeriği bakımından değişiklik göstermekle birlikte hafiften ağıra kadar farklı derecelerde fuel oil bulunur. Çoğu büyük fırınlar hem doğal gaz hem de fuel oil ile çalışacak şekilde donatılmış olup genelde gazla çalışan fırınların bir veya iki portta yağ yakması yaygındır. Cam yapımında üçüncü yaygın enerji kaynağı ya sadece enerji kaynağı olarak kullanılabilen yada fosil yakıtlarla birlikte kullanılan elektriktir. Rezistif elektrik ısıtması Cam Endüstrisi içinde yaygın ticari uygulamam olarak bulunan tek tekniktir. Dolaylı elektrik ısıtması sadece çok küçük tanklar ve maden fırınları için veya tankın ısıtması için kullanılmıştır.

Genel olarak, cam eritmek için gerekli olan enerji cam imalatının toplam enerji gereksiniminin % 75'inden fazlasına denk gelmektedir. Enerji kullanımının diğer önemli alanları *foreheart*, şekil verme süreci, tavlama, fabrikada ısıtma ve genel hizmetlerdir. AB üretiminin yaklaşık % 60 civarına denk gelen Konteynır Cam Sektörüne yönelik tipik enerji kullanımı: % 79 fırın, % 6 *foreheart*, % 4 kompres hava, % 2 lehr ve % 6 diğerleri. Bu belge içerisinde geçen enerji rakamları kullanım noktasındaki enerji ile ilgili olup birincil enerjiye ayarlanmamıştır.

Sektörler ve bireysel tesisler arasında büyük farklılıklar olmasına rağmen cam kaba yönelik örnek endüstri için büyük ölçüde işaret verir. Bu genellemedeki temel istisna fiberleştirme işlemi ve kürlleme ocaklarının da ayrıca ana enerji tüketicileri olduğu Amyant Sektörüdür.

Daha önce ele alındığı üzere, fuel oil ve doğal gaz çok az bir enerji yüzdesi ile eritme işlemi için hakim enerji kaynaklarıdır. Foreheart ile tavlama lehr'leri gaz veya elektrik ile ısıtılır ve elektrik enerjisi süreç için gerekli olan hava kompresörleri ve fanları harekete geçirmek için kullanılır. Genel servislere su pompalama, yakıt depolaması için buhar üretimi ve iz ısıtma, humidifikasyon/yığın ısıtma ve ısıtma binalarını kapsar. Bazı fırınlar gerekli buharın hepsini veya bir kısmını üretmek için atık ısı buhar kazanları ile donatılmıştır.

Sürecin enerji verimliliğine yönelik bir karşılaştırmalı değerlendirme yapabilmek için camın eritilmesine ilişkin teorik enerji ihtiyaçlarının değerlendirilmesi faydalıdır. En yaygın üç cama yönelik teorik enerji gereksinimleri Tablo 3.4'de verilmiştir. Hesaplama tüm elde edilebilir ısının tamamen kullanıldığını ve üç bileşene sahip olduğunu varsayar:

- Ham maddelerden cam oluşturma reaksiyonu ısısı;
- Cam sıcaklığını 20 °C'den 1500 °C'ye çıkarmak için gerekli ısı, entalpi ve
- Eritme sırasında yığından salınan gazların (prensip olarak CO₂) ısı içeriği.

	Soda-Kireç (Düz/Konteynır Cam) GJ/ton	Borosilikat (8 % B₂O₃) GJ/ton	Kristal Cam (19 % PbO) GJ/ton
Tepkime ısısı	0.49	0.41	0.40
Cam entalpisi	1.89	1.70	1.69
Yayılan gazların entalpisi	0.30	0.14	0.16
Teorik enerji gereksinimi	2.68	2.25	2.25

Tablo 3.4: Yaygın cam formülasyonlarının eritilmesine yönelik teorik enerji gereksinimleri [tm14 ETSU]

Çeşitli sektörlerde tecrübe edilen fiili enerji gereksinimleri yaklaşık 3.5'dan 40 GJ/ton'dan fazla olacak şekilde değişiklik gösterir. Bu rakam ağırlıkla fırın tasarımı, işletim derece ve yöntemine dayanır. Ancak camın çoğunluğu büyük fırınlarda üretilir ve eritme için enerji gereksinimi genellikle 8 GJ/tonun altındadır. Enerji tüketimi bilgi bulunduğu mertebede her bir sektör için daha ayrıntılı ele alınacaktır.

Cam yapımı böylesine enerji yoğun ve yüksek sıcaklıkta işleyen bir süreç olduğundan ısı kaybı potansiyelinin yüksek olması kesindir. Son yıllarda enerji verimliliği ile ilgili gözle görülür bir ilerleme kaydedilmiş ve bazı süreçler (örneğin; büyük rejeneratif fırınlar) süreçlerin yapılarında var olan kısıtlamalar da dikkate alınarak erime için teorik asgari enerji tüketimine ulaşmaktadır.

Modern rejeneratif konteynır fırını atık gaz kayıpları yaklaşık % 20 ve geri kalan kısmın büyük çoğunluğunu oluşturan yapısal kayıplar ile birlikte yaklaşık % 50 (azami 60) toplam termal verimliliğe sahip olacaktır. Bu verimlilik tipik olarak yaklaşık % 30 civarında bir verimliliğe sahip olan özellikle elektrik üretimi gibi diğer büyük çaplı yakma faaliyetleri ile oldukça iyi karşılaştırılmaktadır. Ana sebebi yüzey alanının hacme oranındaki değişiklik olmak üzere yapısal kayıplar fırın büyüklüğü ile ters orantılıdır. Elektrikle ısıtılan ve oksijen-yakıt ateşlemeli fırınların spesifik enerji verimlilikleri fosil yakıt fırınlarından genellikle daha iyidir ancak bununla ilintili bu belgede daha sonra ele alınacak bazı sakıncalar da mevcuttur.

Fosil yakıt ile çalışan fırınların enerji tüketimini etkileyen daha genel faktörlerden bazıları aşağıda ana hatlarıyla belirtilmiştir. Herhangi bir özel kurulum için, aşağıda verilen genel yorumların uygulanabilirliğini etkileyebilecek bazı sahaya özgü koşulların göz önünde bulundurulması önemlidir. Bu faktörler ayrıca özellikle CO₂, SO₂ ve NO_x gibi yakılan fosil yakıt miktarı ile doğrudan ilişkili olan maddelerde elde edilen camın her bir tonu için ortaya çıkabilecek emisyonları etkiler.

- Fırının kapasitesi eritilen camın her bir tonu için enerji tüketimini etkiler, çünkü büyük fırınların düşük yüzey alanı hacim oranı nedeniyle doğal olarak enerji verimlilikleri daha fazladır.

- b) Fırın çıktısı da ayrıca önemlidir, zira çoğu fırın en fazla enerji verimliliği üretimine tepe yükünde ulaşır. Fırın yükündeki varyasyonlar büyük ölçüde piyasaya bağlı olup özellikle birtakım konteynır cam ve evsel cam ürünler için oldukça geniş olabilmektedir.
- c) Fırının yaşı arttıkça termal verimliliği de genellikle düşer. Bir fırın kampanyasının sonuna doğru eritilen cam tonu başına enerji tüketimi kampanyanın başındakinden yüksek olarak % 20'ye kadar çıkabilir
- d) Elektrik desteği kullanımı fırının enerji verimliliğini artırır. Ancak, elektrik maliyeti, ve elektrik üretim ve dağıtım verimliliği hesaba katıldığında toplam gelişme daha düşüktür (hatta daha olumsuz da olabilir). Elektrik desteği genellikle enerji verimliliğini arttırmaktan ziyade fırının eritme kapasitesini geliştirmek için kullanılır.
- e) Cam kırıntıları kullanımı enerji tüketimini ciddi oranda düşürür, çünkü hammaddelerin eritilmesi için gerekli kimyasal enerji zaten sağlanmıştır. Genel bir kaide olarak, cam kırıntısı kullanımındaki her % 10'luk artış eritme sürecinde % 2-3'lük bir enerji tasarrufu sağlar.
- f) Oksijen-yakıt yakılması da ayrıca özellikle daha küçük fırınlarda enerji tüketimini azaltır. Yakma atmosferinden azot yoğunluğunun atılması % 60 – 80 oranında fırını terk eden atık gazların hacmini de azaltır. Bu nedenle, atmosferik nitrojenin alev sıcaklığına getirilmesi gerekmediğinden enerji tasarrufu sağlanması mümkün olur.

Enerji verimliliği bu bölümün sektöre özgü kısımlarından ve Bölüm 4'de daha ayrıntılı olarak ele alınan çok karmaşık bir konudur. 1960'lardan bu yana bir bütün olarak Cam Endüstrisi spesifik enerji tüketimini yıllık yaklaşık % 1.5 oranında azaltmıştır. Bugün ise, termodinamik sınırlara yaklaşıldığından rakamlar daha aşağıdadır.

Tablo 3.5 Alman VDI kılavuzundan [tm41 VDI2578] alınmış olup bir dizi modern, enerji verimliliğine sahip cam fırınlar için spesifik enerji tüketimine ilişkin faydalı bir özet sunmaktadır.

Tank fırın tipi	Cam tipi	Eritme alanı *) m ²	Cam banyo derinliği Eritme ucu mm	Tank kapasitesi Eritme ucu Metric- t	Tank banyosunun Boy/en oranı	Çıkış metriği t/d	Spesifik çıkış metriği t/m ² d	Spesifik enerji tüketimi **) kJ/kg cam
Rejeneratif hava ön ısıtmalı çapraz ateşlemeli fırın	Konteynır cam veya su bardağı	15-155	1200-1700	50-500	1.9 – 3.0 : 1	40 – 500	2.5 – 4.0	4200
Rejeneratif uç ateşlemeli fırın	Konteynır cam	15-140	1200-1700	50-500	1.9 – 2.5 : 1	40-450	2.5 – 4.0	3800
Rekuperatif fırın	Konteynır cam	up to 250	1100-1600	50-650	2.0 – 2.8 : 1	40-450	2.0 – 3.0	5000
Yakıt-oksijen-ateşlemeli fırın ***)	Konteynır cam	110-154	1300-1700	390-600	2.0 – 2.4 : 1	350-425	2.3 – 3.5	3050-3500
Rejeneratif hava ön ısıtmalı çapraz 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 ısıtmalı çapraz ateşlemeli fırın	Televizyon tüpü camı (ekran)	70-300	900-1100	160-170	2.0 . 3.0 : 1	100-500	1.1 – 1.8	8300
Rekuperatif hava ön ısıtmalı fırın	Sofra takımı	15-60	1100-1300	40-180	1.8 – 2.2 : 1	15-120	1.0 – 2.0	6700
Rekuperatif hava ön ısıtmalı fırın	Cam elyaf	15-110	800-1500	50-200	2.8 : 1	30-350	3.4	4300

*) Cam eritme ve rafine etmeye yönelik cam fırınının yüzey alanı; normalde ‘köpek kulubesi’ ile boğaz arasında kalan alandır; yüzdürme cam fırını olması durumunda ısıtılmayan tavlama alanıdır.

**) Başlama ve nominal yük işletimi sırasında çalışma ucu ve besleme olmaksızın spesifik enerji tüketimi (elektrik desteği, eriyik ön ısıtma ve ikincil atık ısı değerlendirmesi olmaksızın tak yaşı ay başına % 0.1 ile 0.2)

konteynır cam için % 70 kısıntı
yüzdürme cam için % 20 kısıntı
televizyon tüpü camı ve sofa takımı için % 40 kısıntı

standart kabul edilir.

Kullanılan ilave kısıntı yüzdesi için enerji tasarrufu: % 0.15 ile 0.3

Verilen spesifik enerji tüketim rakamları yeni orta boy ve büyük tesisler için yaklaşık kılavuz değerlerdir. Bireysel vakalarda meydana gelen büyük farklılıklar nedeniyle enerji dengesi değerlendirmeleri için uygun değildir. Efektif spesifik enerji tüketimi yalnızca kısıntı içeriği ve fırın yaşına değil bunlara ilaveten harman terkihi, hava ön ısıtması, spesifik tank yükleme, tank yalıtımı ve gerekli cam kalite standardına da bağlıdır.

***)) Verilen bilgiler oksijen-yakıt teknolojisini kullanan iki ticari tesisten alınan işletim tecrübelerine dayanır. Oksijen üretimi için gerekli enerji spesifik enerji tüketimine dahil edilmemiştir.

Tablo 3.5: Bir dizi cam fırınına yönelik spesifik enerji tüketim örnekleri
[tm41 VDI2578]

3.3 Konteynır Cam

[tm18 CPIV]

Bölüm 1’de açıklandığı üzere, Konteynır Cam toplam üretimin yaklaşık % 60’ını temsil ederek AB Cam Endüstrisinin en büyük sektörüdür. 1997 yılında 140 tesiste çalışan 295 fırın vardı. Fırın tipleri arasında çapraz ateşlemeli rejeneratif, uç ateşlemeli rejeneratif, reküperatif, elektrik ve oksı-gaz ateşlemeli fırınlar sayılabilir ve büyüklükler yılda 50000’den az ton (parfüm şişesi üretimi için 10000) ile yılda 150000’den fazla ton arasında büyük ölçüde değişiklik gösterir. Birkaç fırınlı bir tesisatın üretimi günde 1000 tondan daha fazla olabilir.

Açıkça belirtmek gerekirse, böylesine büyük ve çeşitli bir sektör süreç girdi ve çıktıların miktar ve türlerinde önemli değişikliklere yol açar. Ancak, bu sektörün ürünleri soda-kireç veya modifiye soda-kireç formülasyonları kullanılarak neredeyse özel olarak üretilir ve bu nedenle cam yapıcı ham maddelerdeki varyasyon sınırlıdır.

Hammadde girdisinin üretilen eriyiğe oranı kullanılan cam kırıntısı seviyesine bağlı olarak değişiklik gösterir ki bu erime esnasında hammaddelerden kaybolan gaz miktarını da etkiler. Hammaddelerin gazdan arındırılması ve kurutulması girdinin % 3’ü ile % 20’si arasına karşılık gelir ve 1 tonluk cam kırıntısı yaklaşık 1.2 tonluk işlenmemiş hammadde ile yer değiştirir. Paket eriyik oranı camın çoğunun fırına gönderilerek geri dönüştürülmesi ile % 50 ile % 90’dan fazlası oranında değişiklik gösterir.

Aşağıdaki Tablo 3.6’da ana girdiler ve süreç çıktılarına ait genel görünüm verilmiştir. Emisyonlar tipik orta frekans fırınları temsil eder.

	Birimler/ton (eritilen cam)	Ranj (ortalama değer)			
Girdiler					
Tüketici sonrası kırıntı	ton	0	-	0.85	(0.40)
Silis kumu	ton	0.04	-	0.66	(0.35)
Karbonatlar	ton	0.02	-	0.40	(0.20)
Önemsiz mineral muhteviyat	ton	0.002	-	0.05	(0.02)
Fırın refrakter malzemeler	ton	0.005	-	0.01	(0.008)
Ambalaj malzemeleri	ton	0.040	-	0.080	(0.045)
Kalp ve diğerleri	ton	0.004	-	0.007	(0.005)
Enerji, yakıt /gaz toplamı (1)	GJ	4	-	14	(6.5)
Enerji, elektrik toplamı (1)	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					
- CO2	kg	300.	-	1000.	(430.)
- NOx	kg	1.2	-	3.9	(2.4)
- SOx	kg	0.5	-	7.1	(2.5)
- toz (ikincil azaltım olmaksızın)	kg	0.2	-	0.6	(0.4)
- toz (ikincil azaltım ile)	kg	0.002	-	0.05	(0.024)
- HCl (ikincil azaltım olmaksızın)	kg	0.02	-	0.08	(0.041)
- HCl (ikincil azaltım ile)	kg	0.01	-	0.06	(0.028)
- HF (ikincil azaltım olmaksızın)	kg	0.001	-	0.022	(0.008)
- HF (ikincil azaltım ile)	kg	0.001	-	0.0011	(0.003)
- metaller (ikincil azaltım olmaksızın)	kg	0.001	-	0.011	(0.006)
- metaller (ikincil azaltım ile)	kg	0.000	-	0.002	(0.001)
- H2O (buharlaşma ve yanma)	ton	0.3	-	10	(1.8)
Atık su	m ³	0.2	-	9.9	(1.6)
Geri dönüşüme yollanan atıklar	ton	0.002	-	0.006	(0.005)
Diğer atıklar	ton	0.003	-	0.015	(0.005)

Tablo 3.6: Konteynır Cam Sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış [tm18 CPIV]

(1) Fosil yakıt ateşlemeli fırınlarla çalışan tipik bir tesise yönelik toplam enerji (fırın + diğer).

3.3.1 Süreç Girdileri

Cam yapıcı materyaller	Silis kumu, proses cam kırıkları, tüketici sonrası cam kırıntıları.
Cam ara ve değiştirici materyaller	Sodyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, sodyum sülfat, yüksek fırın cürufu, feldispat, nephelin syenit, potasyum karbonat, karbon, toz filtre.
Cam renklendirme ve renk alma araçları	Demir kromit, demir oksit, demir sülfat, kobalt oksit, seryum oksit, selenyum veya çinko selenit.
Ürün kaplama araçları (sıcak kaplama)	İnorganik veya organik metal kloridler. Ağırlıklı olarak kalay tetrakloridler, titanyum tetrakloridler ve monobutil kalay klorid.
Ürün yağlayıcılar	Polietilen bazlı yağlayıcılar ve yağlı asitler (ör. oleik asit).
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, bütan, propan.
Su	Şebeke kaynağı ve yerel doğal kaynaklar (kuyu, nehir, göl vb.)
Yan Materyaller	Plastik, kağıt, karton ve ahşap da dahil ambalaj malzemeleri. Genellikle yüksek sıcaklıklı gafit bazlı salınım araçları, küf yağlayıcıları Proses gazları, oksijen ve kükürt dioksit Soğutma suyu ve atık su için su arıtım kimyasalları.

Tablo 3.7: Konteynır Cam Sektöründe kullanılan Materyaller (CPIV Jan98)

En büyük süreç girdileri silis ihtiva eden malzemeler (kum ve cam kırıntıları) ve karbonatlardır (soda külü, dolomit ve kireçtaşı). Cam yığınının yönelik ham maddeler Bölüm 2’de tanımlanan cam terkipleri üretmek üzere doğru oranlarda harmanlanır. Çoğu konteynır cam terkiplerinde, silikon, sodyum ve kalsiyum oksitleri camın % 90’dan fazlasına karşılık gelir (SiO₂ %71-73, Na₂O % 12-14 ve CaO % 10-12). Silikon dioksit çoğunlukla cam kırıntıları ve kumdan kaynaklanır. Sodyum oksit çoğunlukla cam kırıntıları ve soda külünden ve kalsiyum oksit ise çoğunlukla cam kırıntıları, kireçtaşı ve bunlara nispeten daha az oranda dolomitten kaynaklanır.

Çoğu konteynır cam süreçleri dahili cam kırıntıları ve tüketici sonrası cam kırıntılarından ibaret olan sektörün yaklaşık % 48’i oranında yığın materyallerindeki önemli ölçüde yığın materyallerindeki cam kırıntıları kullanır. Tüketiciden arta kalan cam kırıntıları kullanılması önemli ölçüde değişiklikler gösterir (% 0’dan 80’e kadar) ancak hemen hemen tüm süreçler genellikle yığının yaklaşık % 10’u civarında olan dahili cam kırıntıları çevrime kazandırılır. Özellikle kum, soda külü, kireçtaşı ve dolomit olmak üzere diğer cam yapım materyallerinin girdileri kullanılan cam kırıntısı miktarı ve terkibine bağlı olarak değişiklik gösterecektir.

Kaplama ve yağlama muameleleri gibi ürün yüzey arıtım materyallerinin kullanımı süreçten sürece değişiklik gösterir. Ancak, kullanılan materyal miktarı cam yapımında kullanılan ham maddelere kıyasla oldukça düşüktür. Ortalama olarak tek bir üretim hattı günde 2 ile 10 kg arası kaplama ajanı ile benzer şekilde düşük düzeyde yağlayıcı arıtmaları kullanır.

Kullanılan yakıtlar süreçten sürece değişiklik gösterir ancak cam eritme için ya ayrı olarak ya da bir arada olacak şekilde genelde fuel oil, doğal gaz ve elektrik kullanılır. Foreheart ve tavlama lehr’leri ayrıca ısıtma ve genel servisler için de kullanılan gaz veya elektrik ile ısıtılır. Hafif fuel oil, propan ve bütan bazen destek yakıtları olarak kullanılır.

Konteynır Cam Sektöründe suyun temel kullanımı soğutma devreleri ve temizleme amaçlıdır. Hammaddelerin ayrılmasını önlemek ve fırından toz taşınımını azaltmak amacıyla yığın materyallerini nemlendirmek için (% 0 ile 4 arası nem) sıklıkla su kullanılır. Soğutma suyu genellikle kapalı veya açık devrelerde çeşitli ekipmanı ve imalat iskartalarından elde edilen camı soğutma amacıyla kullanılır. Fiili su tüketim ve su buhar emisyonları yerel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir (örneğin ortam sıcaklığı ve su girdisinin sertliği).

3.3.2 Hava Emisyonları

3.3.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern konteynır cam süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını 5 mg'm³'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı, granül boyutu ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır.

3.3.2.2 Eritme

Konteynır Cam Sektöründe en büyük potansiyel çevre emisyonları eritme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlardır. Yayılan maddeler ve ilişkili kaynaklar Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Bu sektördeki fırınların çoğunluğu hem doğal gaz hem de fuel oil olmak üzere çoğunlukla fosil yakıtlarla ısıtılır. Ancak, ebat büyüklüğü hem de sektörün geniş ölçüde yayılmış olması gibi nedenlerden ötürü çok geniş menzilli emisyon seviyelerine neden olan işletimde olan çok fazla fırın mevcuttur. Aşağıdaki tablolarda, emisyon ranjları ikincil tedbirleri olan ve ikincil tedbirleri olmayanlar şeklinde ikiye ayrılmıştır. İkincil tedbirlerden yoksun olan tesisler için bu ranjların en alt ucunda birincil tedbirlerden bazıları oldukça ileri düzeyde iken, tam tersine ranjin en üst kısmında ise hiçbir spesifik emisyon tedbirinin alınmamış olması da muhtemeldir.

Bildirilen emisyon seviyeleri Tablo 3.8'de verilmiştir. Bu tablonun kaynağı tüm fırın ve ürün tipleri yelpazesinden, elektrik desteği ile veya olmaksızın, 228 fosil yakıtla çalışan fırından alınan verilere ilişkin konteynır cam ticaret birliği FEVE üyeleri arasındaki bir istatistiksel çalışmadır. Veriler 1996 ve 1997 yılında yapılan ölçümlere gönderme yapar. Örneklem ve ölçüm teknikleri standartlaştırılmamıştır ve veriler sadece inceleme sırasındaki fiili emisyon ranjının göstergesi olarak kabul edilirler. Metal emisyonlarına ilişkin veriler fırınların sadece % 42'si için sağlanmış olup kapsanan metaller değişiklik gösterebilir.

FEVE çalışmasındaki konteynır cam fırınlarının yaklaşık % 30'u (72/228) ikincil azaltım ile donatılmıştır. Bahsedilen ikincil azaltım her durumda genellikle yukarı akış kükürt giderme yoluyla bir EP veya (nadiren) bez filtre ile toz azaltımıdır. Filtre tozu, ham maddelerin olası ikamesi ile empoze edilen eşikler dahilinde her durumda cam eriyiğine dönüştürülmek üzere çevrime alınır. Toplamda kükürt oksit emisyonlarının azalması bu nedenle mevcut uygulamada ham maddelerdeki sülfatın ikamesine karşılık gelir. Kükürt giderme; filtre tozunun geri dönüştürülmesi nedeniyle toplam etkideki benzer kısıtlamalar ile diğer asit gazlarına (HCl & HF) yönelik ikincil azaltımdır. NO_x'in ikincil azaltımı (SCR ile) sadece bir AB konteynır tesisinde (4 fırın) kurulmuş olup ancak en az bir fırının 3R lisansına sahip olduğu düşünülmektedir.

NO_x'e yönelik düşük değerler (<600 mg/Nm³ veya < 1 kg/t) ikincil azaltma olmaksızın belirli fırınlarda gözlemlenebilir. Bu düşük değerleri olanaklı kılan faktörler mevcut tesislerde uygulanabilirlik göstergesi ile birlikte Kısım 4.4.2'de açıklanmaktadır. Yüksek değerler (>2000 mg/Nm³) sadece özel durumlarda gözlemlenebilir; örneğin arındırıcı/oksitleyici araç olarak nitratlara ihtiyaç olması halinde, veya yüksek lokal alev sıcaklıklarının ve/veya kontrolsüz hava sızıntılarının engellenmesinin zor olduğu durumlarda belirli mevcut fırın konfigürasyonları için.

SO_x'e yönelik olarak, düşük değerler (<300 mg/Nm³) yakıttan gelen düşük kükürt girdisi, yığılda düşük kükürt ve cam kırıntılarından artık SO_x olmadığı durumları temsil eder. Yüksek değerler AB'de gittikçe azalan yüksek kükürtlü yakıtların kullanılmasından kaynaklanır.

Toza yönelik düşük değerler (<100 mg/Nm³) özel koşullarda ikincil azaltma olmaksızın gözlemlenebilir ancak bu değerler yazılma esnasında seyrekler. Örneğin borosilikat fırınlardan azaltılmamış emisyonlardan çok yüksek değerler (>400 mg/Nm³) gözlenir. Toz emisyonlarının ölçümleri hem kullanılan teknikte hem de farklı kükürt bileşenleri arasındaki dengenin karmaşık yapısı nedeniyle özellikle hatalara maruz kalır. Bildirilen bazı yüksek veya düşük toz yoğunlaşmalarının kaynağında ölçüm hatası olabilir.

HCl için, düşük klorid sodyum karbonat (doğal tortulardan) ve yüksek cam kırıntı seviyelerinin işe koşulduğu durumlarda ikincil azaltma olmaksızın düşük değerler gözlenebilir. Filtre tozunun geri dönüştürülmesi ile ilişkili yüksek lokal geri dönüşüm oranlarının mevcut olması durumunda, özellikle “sıcak uç” yüzey arıtımının aynı sistemde azaltıldığı zaman klorid ham atık gazda gitgide daha fazla birikecektir. Bu durumda ikincil azaltma (kükürt giderme ile birlikte) özellikle kükürt giderme koşulları aynı absorban ayıracılı deklorinasyon için optimal düzeyde olmadığından illaki en düşük emisyon değerleri ile ilintili olması gerekmez. Yüksek değerlerin nedeni ($>50 \text{ mg/Nm}^3$) genellikle imal edilen sodyum karbonatın yüksek klorid içeriği olacaktır.

Florid belirli doğal ham maddelerde tesadüfi bir katışıklıktır. Geri dönüştürülmüş camda bir katışıklık olarak bulunabilir (örneğin; cam kırıntısı şartnamesinden ihraç edilmiş olmasına rağmen, küçük miktarlarda bulunması muhtemel opal gaz içeren florid'den). Özellikle olumlu veya olumsuz durumlara denk geldiğinde düşük değerler (ikincil azaltma olmaksızın) veya yüksek değerler ile ilgili hiçbir genelleme yapılamaz.

Olumlu durumlarda azaltılmamış atık gazlarda metallerle yönelik düşük değerler ($<1 \text{ mg/Nm}^3$) gözlenebilir; özellikle düşük cam kırıntısı seviyeleri (kurşun katışıklıklarına yönelik), düşük vanadyum yakıtı veya gaz ateşleme ve ham maddelerde selenyumun olmaması durumlarında (ki bu durum belirli beyaz çakmaktaşı camları hariç olmak üzere tüm durumlar için geçerlidir). Yüksek değerler ($<5 \text{ mg/Nm}^3$) genellikle yüksek cam kırıntısı oranları (kurşun), yakıt ateşleme veya beyaz çakmaktaşı camı üretimi (selenyum) ile ilişkilidir.

Tablo 3.9'a yönelik veriler Tablo 3.8'de olduğu gibi aynı FEVE çalışmasından alınmış olup yine ikincil azaltma ile veya olmaksızın şeklinde ikiye ayrılmıştır (esas toz azaltma durumuna yönelik sırasıyla 72/228 ve 156/228 fırın). % 80 orta ranj (P10 ile P90 arası) 1996 – 1997 tarihlerinde AB çevresindeki tesislerinin çoğunluğuna ait bir göstergedir.

Emisyon tipi	Konteynır Cam Eritme Fırınlarının Toplam Ranjı			
	İkincil Azaltım Olmaksızın Birincil tedbirler olmadan/ile		İkincil Azaltım ile	
	mg/Nm ³	kg/t erimiş cam	mg/Nm ³	kg/t erimiş cam
NO _x (NO ₂ olarak)	400-5000	0.6-11.7	<400	<0.74
SO _x (SO ₂ olarak)	100-4500	0.2-9.8	100-1637	0.2-3.4
Toz	40-800	0.1-1.9	1-32	0.002-0.22
HCl	5-62	0.01-0.12	7-30	0.01-0.07
HF	1-70	≤ 0.16	$\leq 1-6$	≤ 0.02
Metaller	$\leq 1-16$	≤ 0.017	$\leq 1-3$	≤ 0.003
Kırıntı Oranı	5 - 95 %			
Tipik Yük	25 - 600 t/gün			
Destekli Spesifik Eritme Enerjisi	3.2 - 12.2 [GJ/t]			

Tablo 3.8: Birincil ve ikincil azaltım tedbirleri ile Konteynır Cam Sektörü fırınlarına yönelik olarak bildirilen toplam emisyon ranjları.
(aşağıdaki Tablo 3.9 yorumlarına bakınız)

Emisyon tipi	İkincil Azaltım Olmaksızın Birincil tedbirler ile/olmadan Konteynır Cam Eritme Fırınlarının Orta % 80 (P10 ile P90)		İkincil Azaltım ile Konteynır Cam Eritme Fırınlarının Orta % 80 (P10 ile P90)	
	mg/Nm ³	kg/t erimiş cam	mg/Nm ³	kg/t erimiş cam
NO _x (NO ₂ olarak)	600-2000	1.2-3.9	<400	<0.74
SO _x (SO ₂ olarak)	250-3200	0.5-7.2	200-1500	0.4-2.8
Toz	100-270	0.2-0.6	2-32	0.002-0.05
HCl	10-40	0.02-0.08	7-30	0.01-0.06
HF	1-11	≤0.027	≤1-5	≤0.011
Metaller	0.2-8	≤0.016	≤1	≤0.002
Kırıntı oranı	18-80 %			
Tipik Yük	100 - 360 t/gün			
Destekli Spesifik Eritme Enerjisi	3.9 - 6.4 [GJ/t]			

Tablo 3.9: Birincil ve ikincil azaltım tedbirleri ile Konteynır Cam Sektörü fırınlarına yönelik orta yüzde 80 emisyon ranjları

Yorumlar:

- Relation between emissions in mg/Nm³ ile kg/ton olarak verilen emisyonlar arasındaki ilişki yakıt tüketimi, yakıt tipi ve kırıntı oranından elde edilen Nm³ atık gaz/ton cam hacim faktörü ile verilmiştir
- Referans koşulları: kuru, sıcaklık 0°C (273K), basınç 101.3 kPa, hacmen % 8 oksijen.

3.3.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

Sıcak yüzey kaplamaları ile soğuk yüzey arıtımları uygulaması başta HCl ve kalay bileşikleri olmak üzere duman ve buhar emisyonlarına sebebiyet verebilir. Emisyon seviyeleri süreçler arasında değişiklik göstermekle birlikte birçok faktöre bağlıdır. Alman VDI Kılavuzu (VDI 2578) sıcak kaplama faaliyetlerden ortaya çıkan atık gazlarda bulunan aşağıdaki yoğunlaşmaları aktarır.

HCl	30 ile 95 mg/m ³
Kalay (partikül madde)	0.006 ile 10 mg/m ³
Kalay (gazlı)	0.4 ile 15 mg/m ³

Kütle emisyonları kullanılan düşük miktarda madde nedeniyle oldukça düşüktür ve konsantrasyonlar ağırlıklı olarak uygulanan ekstraksiyon havasının miktarına bağlıdır. Bu emisyonları kontrol etme yöntemleri Bölüm 4’de gösterilmiştir. Günümüzde, bu maddelerin kontrolünün işyeri maruziyet seviyelerinin kontrolü üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Sıcak uç kaplamadan kaynaklı HCl ihtiva eden atık gazın ciddi oranda organik içerikli atık gazlarla birleştiği durumlarda dioksin ve furan oluşum potansiyeline dikkat edilmelidir.

Oluşum süreçleri yağlama yağlarının sis üretmelerine neden olması muhtemel olacak şekilde son derece mekanikleşmiştir ancak bunlar işyeri maruziyet seviyelerine göre kontrol edilir ve ciddi oranda hava emisyonu arz etmezler. Ancak, bunlar atık su tahliyelerinin hidrokarbon ile kirlenme potansiyelini temsile ederler

3.3.3 Su Emisyonları

[tm18 CPIV]

Daha öncede ele alındığı üzere, bu sektörde suyun temel kullanımları temizleme, soğutma suyu sistemleri, sıcak cam ısıkartılarının soğutulması ve yığın nemlendirme amaçlıdır. Aköz emisyonlar soğutma suyu sistem tasfiyeleri, temizleme suları ve yüzey suyu birikintileri ile sınırlıdır. Temizleme suları örneğin durağan katılar ve potansiyel yağ gibi herhangi bir endüstriyel tesiste olmayacak özel konuları temsil etmezler. Soğutma suyu tasfiyeleri çözülmüş tuz ve su arıtım kimyasallarını ihtiva ederler. Yüzey suyu kalitesi drenaj segregasyonu ve sahanın temizliğine bağlıdır.

Sadece soğutma ve sıcak cam ıskartalarının parçalara ayrılmasına yönelik devre sektöre özeldir. Geri dönüştürülen bu su parçalamadan ve su oluklarından suyu taramak amaçlı kullanılan mekanik kazıyıcı sistemlerin hareketinden ötürü ince cam partikülleri ihtiva edebilir. Camı toplama sistemine getiren kanallar makinelerden ve makas ile dağıtım mekanizmalarında kullanılan yağ veya çözülebilir yağ/su karışımlarından küçük miktarlarda yağ getirebilirler. Devre bu nedenle genellikle katı madde ve yağ ayırıcı içerir ki bu mekanizma ayrıca büyük miktarlarda camın soğutulma işlemi sırasında şekil verme makinelerinde ve kalıp değiştirme sırasında sisteme uygun termal durgunluk sağlamak amacıyla çalışır. Açık devre soğutma genellikle, büyük miktarlarda sıcak camın soğutulması gerektiğinde daha nadir ciddi durumlara olanak sağlamak için kullanılır (ciddi fırın sızıntısı veya şekil verme işleminin tesadüfi olarak kesintiye uğramasına sebep olma).

Evsel atık sular hariç olmak üzere, tahliyeler genellikle sadece cam katıları, bir takım yağ kontaminasyonu ve soğutma suyu sistemi arıtma kimyasallarını ihtiva eder. Tasfiye, tarama, yağ ayırıcılar ve nötralizasyon gibi basit kirlilik kontrol tekniklerine sektör içerisinde rastlamak mümkündür.

3.3.4 Diğer Atıklar

[tm18 CPIV]

İstisnai durumlar hariç olmak üzere her durumda tüm süreç atıklarının doğrudan yerinde geri dönüştürülmesi Konteynır Cam Sektörünün bir özelliğidir. Buna şekil verme ve kalite kontrol aşamalarındaki cam ıskartaları ile birlikte ayrıca ham madde taşınması, azaltma ekipmanı tozu ve fırın atık gaz kanalındaki sülfat tortuları da dahildir.

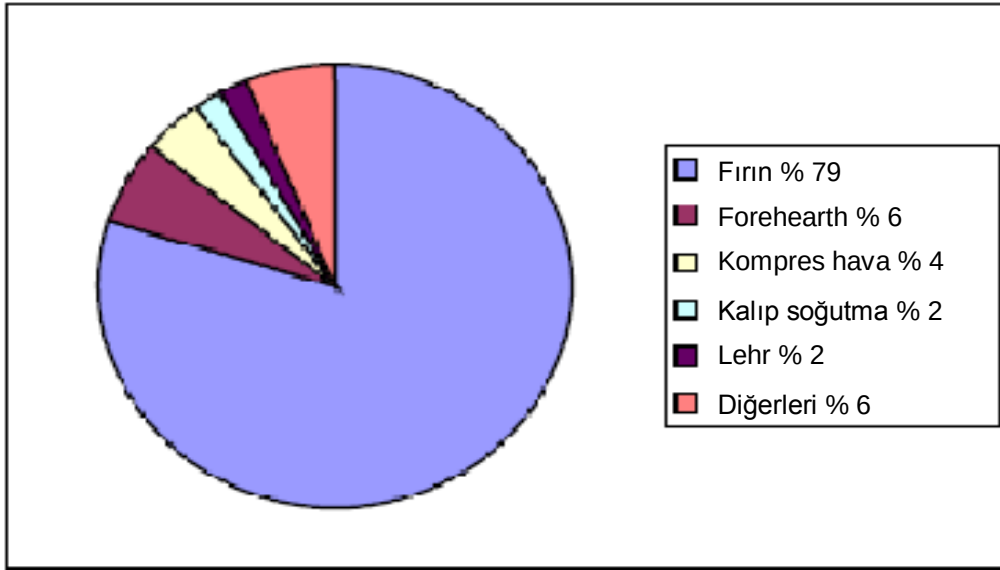
Fırın işleminin sonunda, tüm refrakter yapısı sökülür ve değiştirilir. Bu işlemler 500 ile 2000 ton arasında atık refrakter materyal üretirler ki bunlar sınıflandırılır ve fiyat biçilir. Sadece bu materyallerden çok küçük bir miktar fiyatlandırma için uygun değildir ve gerekli ise uygun arıtma işlemi sonrası arazi dolumuna yönlendirilir. Bazı materyaller (örneğin; silis refrakterleri) fırın içerisinde öğütülmüş ve geri dönüştürülmüş olabilir. Ancak, teknik fizibilitenin kanıtlanmış olmasına karşın bu tekniğin maliyeti genellikle eliminasyon veya valorizasyon gibi alternatif yöntemlere göre daha yüksektir.

Cam ham maddeleri genellikle toptan yığınlar halinde sevk edilir ve ambalaj atıklarına yol açmaz. Ürün ambalajlama işlemlerinden kaynaklanan atık materyaller (plastik, mukavva ve ahşap) genellikle tedarikçiler ve uygun diğer kanallar vasıtasıyla yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Örneğin atık bidon ve diğer ambalajlama malzemeleri, kağıt, batarya, yağlı çaputlar vb. gibi endüstriye özgü olmayan diğer atıklar geleneksel yöntemler ile tahliye edilir veya mümkün mertebe harici bir atık şirketi tarafından geri dönüştürülürler.

3.3.5 Enerji

[tm18 CPIV, tm14 ETSU]

Genel olarak, cam eritmek için gerekli olan enerji cam imalatının toplam enerji gereksiniminin % 75'inden fazlasına denk gelmektedir. Enerji kullanımının diğer önemli alanları *foreheart*, şekil verme süreci (kompres hava ve kalıp soğutucu hava), tavlama, fabrikada ısıtma ve genel hizmetlerdir. Süreç basamağı ile tipik enerji kullanımı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1: Tipik bir konteynır cam tesisinde enerji kullanımı

Ağır yakıt veya doğal gaz çok az bir enerji yüzdesi ile (% 5'e kadar) eritme işlemi için birincil enerji kaynaklarıdır. Forehearth ile tavlama lehr'leri gaz veya elektrik ile ısıtılır ve elektrik enerjisi süreç için gerekli olan hava kompresörleri ve fanları harekete geçirmek için kullanılır. Genel servislere su pompalama, yakıt depolaması için buhar üretimi ve ız ısıtma, humidifikasyon/yığın ısıtma ve ısıtma binalarını kapsar. Bazı durumlarda, büyük fırınlar gerekli buharın hepsini veya bir kısmını üretmek için atık ısı buhar kazanları ile donatılmıştır.

Sürecin enerji tüketimi birçok faktöre dayanır, başlıcaları ana hatlarıyla Kısım 3.2.3'de verilmiştir. Sektör içerisinde karşılaşılan enerji tüketim ranjı oldukça fazladır (bakınız Tablo 3.8). Ancak, tesislerin çoğunluğunun 4.5 ile 7.0 GJ/ton arasında eritilmiş cam ve 6.5 ile 9.0 arasında bitmiş ürün ranjına rastladığı hesaplanmaktadır. Bazı çok kaliteli ürünler için bu rakamlar ciddi oranda yüksek olabilir.

3.4 Düz Cam

Düz cam sürecinin temel çıktısı elbette ki ham madde girdisinin % 70'ini temsil eden üründür. Geri kalanı büyük oranda % 10 -20'lik hava emisyonlarından ibaret olup, temelde karbonatların çözülmesinden gelen CO₂; ve kenar kesme, ürün değişim ve kırılmalarından meydana gelen % 10-20 civarında ıskarta camdan (cam kırıntısı) oluşur. Cam kırıntıları genellikle sürekli olarak fırına gönderilip geri dönüştürülür ve bu yüzden fiili olarak ham madde girişinin %85'ine yakını temsil eder.

3.4.1 Süreç girdileri

[tm18 CPIV]

Düz cama yönelik cam terkininde diğer cam endüstrisindeki sektörlere göre genellikle daha az varyasyon mevcuttur. Ancak farklı üreticilerin ham madde kaynaklarındaki varyasyonlar veya özel tercihlere bağlı olarak nihai terkinde erişmek için birbirinden çok az farklı yollar seçmeleri mümkündür. Kullanılan cam kırıntısı miktarı, renklendiriciler veya kaplama süreçlerinde özel farklılıklar olabilir. Sektörde kullanılan temel ham maddeler aşağıdaki tabloda listelenmiştir.

Cam yapıcı materyaller	Silis kumu, proses cam kırıkları, (bazen tüketici sonrası cam kırıntıları)
Cam ara ve şekillendirici materyaller	Sodyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, anhidroz sodyum sülfat, kalsiyum sülfat ve alçıtaşı, sodyum nitrat, nephelin syenit, feldspar, yüksek fırın cürufu, karbon, toz filtre
Cam renklendirme araçları	Potasyum dikromat, demir oksit, kobalt oksit, seryum oksit, selenyum metal veya çinko selenit
On-line kaplama Süreçleri	Silikon bileşikler (örneğin silikon tetraklorid, silikon karbonat) güçlü asit bileşikler, organik ve inorganik kalay bileşikler
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, destek hafif fuel oiller.
Su	Şebeke kaynağı ve yerel doğal kaynaklar (kuyu, nehir, göl vb.)
Yan Materyaller	Plastik, kağıt, karton ve ahşap da dahil ambalaj malzemeleri. Genellikle mineral yağlar olmak üzere makine yağlayıcıları Proses gazları, nitrojen, hidrojen ve kükürt dioksit Yüzdürme havuzundaki kalay Soğutma suyu ve atık su için su arıtım kimyasalları

Tablo 3.10: Düz Cam Sektöründe kullanılan Materyaller

En büyük süreç girdileri silis ihtiva eden malzemeler (kum ve cam kırıntıları) ve karbonatlardır (soda külü, dolomit ve kireçtaşı). Cam yığınının yönelik ham maddeler Bölüm 2’de tanımlanan cam terkipleriyle üretmek üzere doğru oranlarda harmanlanır. Tipik düz cam terkiplerinde, silikon, sodyum, kalsiyum ve magnezyum oksitleri camın % 98’den fazlasına karşılık gelir (SiO_2 %72.6, Na_2O % 13.6, CaO % 8.6 ve MgO % 4.1). Silikon dioksit çoğunlukla cam kırıntıları ve kumdan kaynaklanır. Sodyum oksit çoğunlukla cam kırıntıları ve soda külünden ve kalsiyum oksit ise çoğunlukla dolomit ve kireçtaşı ve dolomitte magnezyum oksitten kaynaklanır.

İstisnai durumlar hariç olmak üzere her durumda düz cam işletmeleri tüm dahili cam kırıntıları doğrudan fırına almak suretiyle geri dönüştürür. Düz cam genellikle inşaat ve otomotiv endüstrilerinden kullanılan ürünler oluşturur ve bu süreçten kaynaklanan cam kırıntıları da bazı durumlarda daha sonra geri dönüştürülür. Geri dönüştürülen cam kırıntıları miktarı genellikle doğru nitelikte cam kırıntıları elverişliliği ve kimyasal uyumluluğu ile sınırlıdır. Fırına alınan toplam cam kırıntıları tipik olarak % 20 civarındadır ancak yüzdürme fırın için % 10 ile % 40 arasında; diğer tip düz cam çeşitleri için de % 80’den fazla olabilir. Fabrikasyon işlemcilerinden elde edilen atık camlar düz cam imalat ünitelerinde yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür, ancak çok az kirlenmiş olan atıklar cam konteynir imalatçıları veya diğer tip cam ürün imalatçıları tarafından kullanılabilir. Süreçlerden gelen atık camların muhtemelen % 95’i bir şekilde geri dönüştürülür.

On-line kaplama süreçleri çok özel ve duruma özgüdür. Tablo 3.10’da kullanılan bazı tipik hammaddeler listelenmiştir.

Cam Endüstrisinin diğer bölümleri ile benzer şekilde, temel su kullanım alanları temizleme, soğutma ve yığın nemlendirmedir. Düz cam 200 °C’den fazla sıcaklıklarda tavlama lehr’den ortaya çıkan sürekli bir şeritte üretilir. Fabrikada tüketilen suyun çoğu bu sıcak şeridin yıkanması/soğutulması için kullanılır ve kirlenmez (bir miktar Na_2SO_4 içerebilir). Fiili su tüketimi ve su buharı emisyonları yerel şartlara göre değişiklik gösterebilir (örneğin; ortam sıcaklığı ve su girdisinin sertliği).

Düz cam fırınları neredeyse münhasıran ağır fuel oil veya doğal gaz ile bazı durumlarda da enerji girdisinin %5’ine kadar elektrik desteği ile ateşlenir. Özel uygulamalar için bazı küçük ölçekli elektrik fırınları bulunur. Ayrıca son yıllarda ABD’de hizmete alınan oksijen-yakıt ile çalışan bir fırın da mevcuttur.

3.4.2 Hava Emisyonları

[tm18 CPIV]

3.4.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern düz cam süreçlerinde silolar ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını 5 mg/m^3 'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Filtreli ve filtersiz sistemlerden kaynaklı kütle emisyonları aktarım sayısı ile taşınan malzemelerin miktarına bağlıdır.

3.4.2.2 Eritme

Düz Cam Sektöründe en büyük potansiyel çevre emisyonları eritme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlardır. Yayılan maddeler ve ilişkili kaynaklar Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Bu sektördeki fırınların hemen hemen hepsi (hem doğal gaz hem de fuel oil olmak üzere) fosil yakıtlarla çalıştırılan çapraz ateşlemeli rejeneratif fırınlardır.

Hava emisyon ranjlarının özeti aşağıdaki Tablo 3.11'de verilmiştir. Tabloda azaltmasız fırınlar ve ikincil azaltma teknikleri kullanan fırınlar ait rakamlar ayrı ayrı gösterilmiştir. Veriler normal işletim koşullarında düz camı belirterek ham gaz hem de petrolle çalışan fırınlara ait verilere kapsar ve sadece 1996 ile 1997 ölçümlerini içerir.

	Azaltmasız Fırınlar mg/m³ (kg/ton erimiş cam)	Azaltmalı Fırınlar Birincil/İkincil Metotlar mg/m³ (kg/ton erimiş cam)
Azot Oksitleri (NO ₂ olarak)	1800 - 2870 (1.7 - 7.4)	495 - 1250 (1.1 - 2.9)
Kükürt Oksitleri (SO ₂ olarak)	365 - 3295 (1.0 - 10.6)	218 - 1691 (0.54 - 4.0)
Partiküler madde	99 - 280 (0.2 - 0.6)	5.0 - 40 (0.02 - 0.1)
Floridler (HF)	<1.0 - 25 (<0.002 - 0.07)	<1.0 - 4.0 (<0.002 - 0.01)
Kloridler (HCl)	7.0 - 85 (0.06 - 0.22)	4.0 - 30 (<0.01 - 0.08)
Metaller	<1.0 - 5.0 (<0.001 - 0.015)	<1.0 (<0.001)

Tablo 3.11: Azaltmalı ve azaltmasız düz cam fırınlarından alınan emisyon seviyeleri
Referans koşulları: kuru, sıcaklık 0°C (273K), basınç 101.3 kPa, hacmen % 8 oksijen.

Azaltmasız fırınlar terimi normalde herhangi bir özel kirlilik kontrol teknolojisi olmadan çalışan fırınlar için kullanılır. Tablodaki değerler rapor edilen fiili ölçümlerdir ancak veriler 1996 ile 1997 yıllarına ait olduğundan önemli bir sonuç eksiktir. Bu, FENIX sürecinde işleyen Aniche'deki Saint Gobain tesisidir ve bu tesis 1998 yılında birincil teknikler ile birlikte NO_x için 510 mg/Nm^3 ve 1.1 kg/tonluk erimiş cam emisyonuna ulaşmaktaydı.

Azaltmasız fırınlar için, azami ve asgari emisyon seviyeleri 80 yüzdelik değerden çok farklı değildi ve 80 yüzdelik değer analizini anlamlı yapacak çok az azaltmasız fırın vardı (örneğin; deNO_x tekniklerini işleten sadece 2 fırın vardı). Bu nedenle 80 yüzdelik değer sunulmamıştır.

Azaltmasız fırınlar için, en yüksek NO_x emisyonları yüksek derecede yüklü gazla çalışan tesislerden; en düşük emisyon değerleri ise petrolle çalışan tesislerden alınmıştır. Azaltılmış iki emisyon sadece iki portunda 3R işleten bir fırın ve SCR'li bir fırından alınmıştır.

Azaltmasız fırınlara yönelik en yüksek SO_x emisyonları yüksek kükürtlü yakıtlarla birlikte petrolle çalışan tesislerden; en düşük emisyonlar ise yüksek cam kırıntı seviyeleri ile birlikte düşük yüklü gazla çalışan tesislerden alınmıştır. Azaltmasız fırınlar için en yüksek HCl ve HF emisyonları ham maddelerde nispeten yüksek Cl ve F seviyeli tesislerden alınmıştır. Azaltmasız tesislerden en yüksek metal emisyonları petrolle çalışan tesisler ve renklendirme araçları kullananlardan (Se, Co, Fe ve Cr); en düşük emisyonlar ise gazla çalışan tesislerden alınmıştır. Azaltmalı tesislerden SO_x, toz, HCl, HF ile metal emisyon ranjları yerel izin gereksinimlerini karşılamak amacıyla asit gazı yıkama ile birlikte partikül azaltım sistemlerini kullanan tesislerle ilişkidir. Metaller için bu emisyonların tespit sınırlarının altında olduğu anlamına gelir.

3.4.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

Yüzdürme havuzundan kalay buharı emisyonlarının çok düşük olduğu tespit edilmiş olup bu emisyonlar sadece düşük işyeri risk seviyelerini teminen izlenmektedir. Bu konuda daha fazla ele alınmayacaktır.

Düz cama uygulanan on-line kaplama süreçleri çok fazla duruma özgü olup kullanılan ham maddeler ile yayılan kirlenici maddeler değişiklik gösterecektir. Ancak emisyonlar tipik olarak asit gazı (HF, HCl) ve ince partikül madde (örneğin silikon ve kalay oksitleri) ihtiva ederler. Bu tip bir süreç genellikle genel yerel çevre mevzuatına tabidir ve azaltım buna uygun olarak tesis edilir. Örneğin; HCl 10 mg/m³, HF 5 mg/m³, partikül 20 mg/m³ ve kalay bileşikleri 5 mg/m³.

3.4.3 Su Emisyonları

Daha öncede ele alındığı üzere, bu sektörde suyun temel kullanımları temizleme, soğutma suyu sistemleri, sıcak cam ısıkalarının soğutulması ve yığın nemlendirme amaçlıdır. Aköz emisyonlar soğutma suyu sistem tasfiyeleri, temizleme suları ve yüzey suyu birikintileri ile sınırlıdır. Temizleme suları örneğin durağan katılar ve potansiyel yağ gibi herhangi bir endüstriyel tesiste olmayacak özel konuları temsil etmezler. Soğutma suyu tasfiyeleri çözülmüş tuz ve su arıtım kimyasallarını ihtiva ederler. Yüzey suyu kalitesi drenaj segregasyonu ve sahanın temizliğine bağlıdır.

Evsel atık sular hariç olmak üzere, tahliyeler genellikle sadece cam katıları, bir takım yağ kontaminasyonu ve soğutma suyu sistemi arıtma kimyasallarını ihtiva eder. Tasfiye, tarama, yağ ayırıcılar ve nötralizasyon gibi basit kirlilik kontrol tekniklerine sektör içerisinde rastlamak mümkündür.

3.4.4 Diğer Atıklar

Mümkün mertebe, yığın tesis tozları ham madde silolarına iade edilir ve süreçte yeniden kullanılır. Iskarta yığınları mümkün mertebe daha sonraki yığınlara küçük miktarda ilaveler ile dereceli olarak yeniden sürece alınır. Tipik olarak cam yapım sürecinin sonundan cam atıkların % 99'u, kırık, ısıkarta ve hasarlı camlar yeniden eritmek üzere iade edilir.

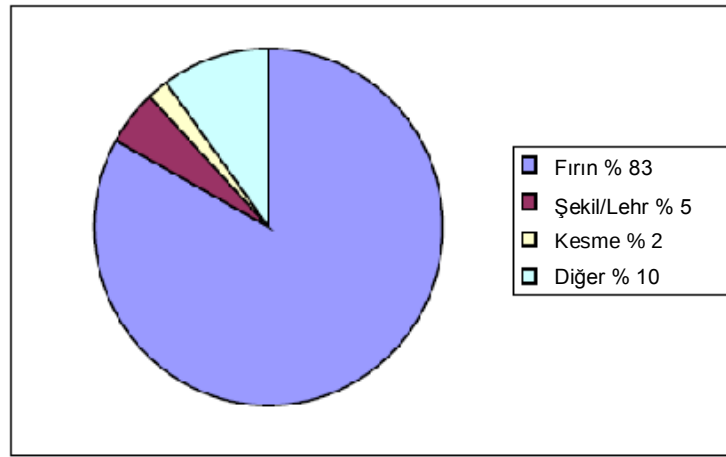
Fırın işlemi sonunda refrakter yapısı (bazen jeneratörler değil) sökölür ve değiştirilir. Konteynır Cam Sektöründeki gibi bu malzeme mümkün mertebe yeniden kullanmak veya satılmak amacıyla geri kazanılır. Krom ihtiva eden malzemeler ile ilgili konular Kısım 3.2.2.3'de ele alınmıştır.

Cam ham maddeleri genellikle toptan yığınlar halinde sevk edilir ve ambalaj atıklarına yol açmaz. Ürün ambalajlama işlemlerinden kaynaklanan atık materyaller (plastik, mukavva ve ahşap) genellikle tedarikçiler ve uygun diğer kanallar vasıtasıyla yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Endüstriye özgü olmayan diğer atıklar geleneksel yöntemler ile tahliye edilir.

3.4.5 Enerji

[tm18 CPIV, tm14 ETSU]

Tipik bir yüzdürme cam sürecine yönelik enerji kullanımı dağılımı aşağıdaki Şekil 3.2’de gösterilmiştir ancak özel süreçlerde enerji kullanımı çok az da olsa değişiklik gösterebilir. Bir cam tesisinde kullanılan enerjinin üç çeyreğinden fazlasının eritme camına yayıldığı görülebilir. Şekil verme ve tavlama işlemleri toplam enerjinin % 5’ini alır. Geri kalan enerji ise servisler, kontrol sistemleri, ışıklandırma, fabrika ısıtma ve denetim ile ambalajlama gibi oluşum sonrası süreçlerde kullanılır.



Şekil 3.2: Tipik bir yüzdürme cam sürecine yönelik enerji kullanımı

Yüzdürme cam fırınları neredeyse münhasıran ağır fuel oil veya doğal gaz ile bazı durumlarda da enerji girdisinin %5’ine kadar elektrik desteği ile ateşlenir. Birçok fırın ya petrol veya gaz yada farklı brülörlerde aynı zamanda ikisini birden yakma kapasitesine sahiptir. Birtakım elektrikli fırın örnekleri mevcuttur ancak bunlar küçük ölçekli ve uzman uygulamalar içindir. Ayrıca ABD’de 1998 yılında çalışmaya başlayan oksijen-yakıt ateşlemeli bir fırın da mevcuttur.

Foreheart’lar (haddelenmiş camda) ile tavlama lehr’leri gaz veya elektrik ile ısıtılır ve elektrik enerjisi süreç için gerekli olan hava kompresörleri ve fanları harekete geçirmek için kullanılır. Genel servislere su pompalama, yakıt depolaması için buhar üretimi ve iz ısıtma, humidifikasyon/yığın ısıtma ve ısıtma binalarını kapsar. Bazı durumlarda büyük fırınlar gerekli buharın hepsini veya bir kısmını üretmek için atık ısı buhar kazanları ile donatılmıştır.

Sürecin enerji tüketimi birçok faktöre dayanır ki başlıcaları Kısım 3.2.3’de ana hatlarıyla verilmiştir. Kullanılan fırın tipinde nispeten çok az çeşitlilik olduğundan sektör içinde karşımıza çıkan enerji tüketim ranjı oldukça dardır. Eritme işlemine yönelik enerji seviyeleri 5.5 ie 8.0 GJ/ton eriyik cam arasındadır.

3.5 Sürekli Filament Cam Elyaf

En önemli çıktı hammadde girdisinin % 55 ile % 80’inden gelen üründür. Hava emisyonları, katı tortular ve aköz sular yoluyla kayıplar meydana gelir. Erimiş cam fırın hammadde girdisinin yaklaşık % 80 ile 85’ini temsil eder. Kaybın çoğu karbonatın çözülmesinden özellikle CO₂ olmak üzere gazlı emisyonlardan ibarettir. Atık elyaf ve cam süreç girdilerinin % 10’u ile 30’u arasında olabilir. Aşağıdaki Tablo 3.12’de sürekli filament cam elyafı imalatı için tipik girdi/çıktı özeti gösterilmiştir.

		Ürün miktar/ton			
		Girdi	Birim	Çıktı	Birim
Cam ham maddeleri					
Silis		300-457	kg		
Kolemanit		141-250	kg		
Kalsiyum karbonat		300-411	kg		
Kil		395-544	kg		
Fluorspar		0-20	kg		
Diğer		3-153	kg		
Hava emisyonları					
Azaltım sistemi olmaksızın toz				1.4-4	kg
Azaltım sistemi ile toz				0.02-0.24	kg
Ham madde ayrışmasından CO2				120-200	kg
Yanmadan kaynaklı CO2				450-1000	kg
Yanma / hammadde ayrışmasından su buharı				180-800	kg
Kurutma süreçlerinden kaynaklı su				75-200	kg
NOx (NO2 olarak)				2.6-6.7	kg
SOx (SO2 olarak)				1-8	kg
HF				0-2	kg
HCl				0.03-0.12	kg
Evaporatif soğutma kaynaklı su				3200	kg
Şekil verme alanları fırınlardaki VOC....				0.1-0.5	kg
Bağlayıcı ürünler dengesi					
(tedarik edildiği gibi)	Polimer (~50 % katı)	20-40	kg		
(tedarik edildiği gibi)	Silan	1-2	kg		
(tedarik edildiği gibi)	Yağlayıcılar	1-5	kg		
(tedarik edildiği gibi)	Diğer	0-10	kg		
(kuru katılar)	Camdaki bağlayıcı			4-20	kg
(kuru katılar)	Atık sudaki bağlayıcı			1-13	kg
(kuru katılar)	Katı atıktaki bağlayıcı			<1	kg
	Havadaki bağlayıcı (bakınız yukarıdaki VOC)				kg
Su dengesi					
	Toplam	5000-20000	kg		
	Bağlayıcı için eklenen	<200	kg		
	Soğutma için (eklenen)	>1500	kg		
	Spreyleme, temizleme için	>3000	kg		
	Atık camdaki			10-20	kg
	Kanalizasyondaki			1500->6000	kg
	havadaki (fırınlarda)			100-200	kg
Katı atıklar (kuru katılar)					
	Fiberglas			60-250	kg
	Bağlayıcı atıkları			1-13	kg
Enerji					
	Toplam	22.3-36	GJ		
	Eritme enerjisi (Fırın + Forehearth'lar)	11.2-23	GJ		
	Şekil verme enerjisi (yatak, kurgu, direkt yarıcılar vb.)	2.5 ⁽¹⁾	GJ		
	Süreçlere yönelik enerji (fırın, yatak, kurgu vb. dahil)	2.2 ⁽¹⁾	GJ		
	Hizmetlere yönelik enerji	1.1 ⁽¹⁾	GJ		
	Bacadan çıkan ısı			1.8-2.9	GJ

**Tablo 3.12: Sürekli Filament Cam Elyaf Sektörü girdi ve çıktılarına genel bakış [tm18 CPIV]
(1) Örnek bir fırın**

3.5.1 Süreç girdileri

Elyafın kimyasal bileşimi cam tipine ve son kullanıma bağlı olarak değişiklik gösterir ve genellikle içerdiği elementlerin oksitleri bağlamında ifade edilir. “Tipik” bir yığın bileşimini yukarıdaki Tablo 3.12’de verilenin ötesinde tanımlamak güçtür. Temel ham maddeler seçilir ve erime sonrası istenilen nihai cam terkipleri elde etmek amacıyla harmanlanır. Tipik cam türleri ve bileşim ranjları Bölüm 2’de gösterilmiştir. Aşağıdaki Tablo 3.13’de bu terkipleri elde etmede kullanılan temel ham maddeler gösterilmiştir.

Cam yapıcı materyaller	Silis kumu.
Cam ara ve şekillendirici materyaller:	Kalsiyum karbonat, kalsiyum oksit, alümina silikat, kolemanit, kalsiyum borat, boraks, borik asit, feldspar, fluorspar, kalsiyum sülfat, sodyum karbonat, potasyum karbonat, sodyum sülfat, çinko oksit, titanyum oksit veya rutil, zirkonyum oksit, dolomit, demir oksit.
Kaplama materyalleri:	Kaplama materyali ürünün son kullanımına göre değişiklik gösterir. Tipik kaplamalar: film formerleri (örneğin polvinil asetat, amidon, poliüretan, epoksi reçinesi); kuplaj ajanları (örneğin organo-fonksiyonel silanlar); pH modifiyerleri (örneğin asetik asit, hidroklorik asit, amonyum tuzları); ve yağlayıcılar (örneğin mineral yağlar, yüzey aktif maddeleri).
İkincil ürünlere yönelik bağlayıcılar:	Polivinil asetat, doymuş polyester tozları, fenolik reçine tozları.
Yakıtlar:	Fuel oil, doğal gaz, elektrik.
Su:	Ana şebeke ve yerel doğal kaynaklar (kuyular, nehirler, göller vb.).
Yan Materyaller:	Plastik, kağıt, mukavva da dahil ambalaj malzemeleri. Proses gazları, oksijen. Soğutma suyu ve atık suya yönelik su arıtım kimyasalları.

Tablo 3.13: Sürekli Filament Cam Elyaf Sektöründe kullanılan materyaller

En büyük süreç girdileri silis kumu, alkali/alkali toprak metal karbonat ve oksitler, alümina ve boron ihtiva eden materyallerdir. E cam terkininde silikon, sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum, boron ve alüminyum oksitleri camın % 95'inden fazlasına karşılık gelir. Hakim oksitler ile bunların kaynağını aldığı temel materyaller: SiO₂ (% 53 - 60 - kum); CaO+MgO (% 20 – 24 – kireçtaşı, dolomit); B₂O₃ (% 0-10 – kolemanit, boraks vb.); Al₂O₃ (% 11-16 - alümina); ve Na₂O+K₂O (< %2 – soda külü/potas).

Kaplama materyalleri tipik olarak % 0.5 ile 2 gibi ürün kütlesinin çok küçük bir payını temsil ederler. Tipik olarak % 50 katı ve Tablo 3.13'de belirtilen diğer materyallerin küçük miktarları olacak şekilde temelde aköz polimer çözeltilerden meydana gelirler.

Su; soğutma, temizleme ve kaplama hazırlama ve bazı hallerde ıslak gaz yıkama sistemleri için kullanılır. Cam elyaf imalatının temel özelliklerinden biri de soğutma için çok miktarda suya ihtiyaç duyulmasıdır. Her bir yatağın 1250 °C sıcaklıktan hızlıca oda sıcaklığına düşürülmesi için suya gereksinim duyulur. Bu soğutma ısının yatak uçlarının yakınındaki metalik barlara aktarılması, devridaim suyu ile soğutulması ve soğuk havanın filamentler arasından geçirilmesi ve su spreyleri ile sağlanır. Soğutma suyu ayrıca fırın ve forehearth çevresinde de gereklidir. Soğutma suyu genellikle yarı kapalı devrelerde olup toplam akışlar tipik olarak birkaç bin m³/s'dir.

Ciddi miktarda su ayrıca kaplama hazırlama ve şekil verme/bükme alanında da kullanılır. Her bir ton bitmiş ürüne düşen toplam su tüketimi tipik olarak 4 ile 20 m³ arasında olup soğutma sistemi kayıpları bu rakamın % 20'sine karşılık gelir.

3.5.2 Hava Emisyonları

3.5.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern konteynır cam süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını $5 \text{ mg}'\text{m}^3$ 'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı, granül boyutu ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır. Kaplama materyallerinin depolama ve taşınması da ayrıca toz ve uçucu organik bileşik (VOC) emisyonuna sebebiyet verebilir ancak bunlar genellikle çok düşük olup iyi uygulama ve yerel çıkarım yöntemleri ile kontrol edilebilir.

3.5.2.2 Eritme

{tm18 CPIV}

Sürekli Filament Cam Elyaf Sektöründe en büyük potansiyel çevre emisyonları eritme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlardır. Yayılan maddeler ve ilişkili kaynaklar Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Bu sektörde hakim fırın tipi elektrik destekli doğal gaz ile çalışan reküperatif fırındır (bazı fırınlar petrol ateşlemelidir).

Hava emisyon ranjı özeti aşağıda Tablo 3.14'de verilmiştir. Tabloda hem birincil hem de ikincil azaltım tekniklerine yönelik rakamlar gösterilmektedir. Toz emisyonları ağırlıklı olarak alkali sülfat ve boratlardan oluşur (örneğin; sodyum/potasyum sülfat ve sodyum/potasyum borat).

	Birincil azaltım metotları mg/m³ [kg/ton erimiş cam]	İkincil azaltım metotları mg/m³ [kg/ton erimiş cam]
Azot oksitleri (NO ₂ olarak)	670 - 1600 [0.5 - 8.0]	İkincil azaltım örneği yok
Kükürt oksitleri (SO ₂ olarak)	150 - 1200 [0.75 - 6.0] (gaz ateşlemeli) 3000 [15]'e kadar (petrol ateşlemeli)	İkincil azaltım örneği yok
Partiküler madde	200 - 500 [1.0 - 2.5]	5 - 50 [0.025 - 0.25]
Floridler (HF)	10 - 50 [0.05 - 0.25] (ilave florid yok) 50 - 400 [0.25 - 2.0] (ilave florid)	<20 [<0.1]
Kloridler (HCl)	<10 [<0.05]	<10 [<0.05]
Metaller	<5 [<0.025]	<5 [<0.025]

Tablo 3.14: Sürekli filament cam elyaf fırınlarından alınan emisyon seviyeleri

Referans koşulları: kuru, sıcaklık 0°C (273K), basınç 101.3 kPa, hacmen % 8 oksijen. NO_x'a yönelik en düşük kütle emisyonları oksijen-yakıt fırınına aittir bu nedenle en düşük konsantrasyon olarak aynı fırına ait olamaz.

Özel bir fırına yönelik emisyon seviyeleri yığın terkiibi, kullanılan azaltım teknikleri ve fırının yaşı gibi bazı faktörlere bağlı olabilir. Florid emisyonları doğrudan yığında florid içeren bileşiklerin kullanımı ile alakalıdır. Bazı durumlarda florid cam terkiibi ihtiyacını karşılamak üzere bir ham madde olarak ilave edilirken öteki durumlarda ise bazı hammaddelerin katışıklığıdır. Kökeni ne olursa olsun bir kısım florid fırından atık gaz formunda yayılır. Florid hacmi yığındaki florid seviyesi ile kullanılan azaltım tekniğine bağlı olarak ciddi derecede değişiklik arz edebilir. Gerekli görülen florin miktarı fırın ve elyaf oluşum tasarımı, bitmiş ürünün çıktı ve filament çap gereksinimleri ile ilgili özel teknik faktörlere bağlıdır.

3.5.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

[tm18 CPIV]

Kaplama uygulamasından kaynaklı hava emisyonları kaplama materyallerinin genel düşük uçuculuğu ve uygulama noktasındaki düşük cam sıcaklıkları nedeniyle oldukça düşüktür. Ancak, oluşum alanındaki hava akımları camın yeterli ölçüde soğutulmasını temin etmek için çok yüksektir ve birtakım damla taşınımı ve organik bileşik buharlaşması meydana gelir. Çoğu durumda çıkarılan soğutucu hava salınmadan veya oluşum alanında kısmi geri dönüşüm işlemi öncesinde su gaz yıkama sistemler ile arıtılır. Soğutucu havanın yüksek hacimde olması emisyon konsantrasyonlarının genelde hayli düşük olduğu anlamına gelir. Sınırlı ölçümler (yüksek çözücü düzeyli kaplama kullanımı da dahil olmak üzere) VOC konsantrasyonlarının çok düzey ile 20 mg/m³ arasında olduğunu ortaya koymuştur.

Kaplama materyalleri genellikle su bazlıdır ve elyaf kekleri sıklıkla ocaklarda kurutulur. Kurutma süreci su buharı ve kurutma sıcaklığında uçucu maddelerin emisyonuna neden olur. Kaplamalar kurutma süreci boyunca cama kimyasal olarak bağlıdır ve emisyon seviyeleri genelde nispeten düşüktür. Ancak, kaplama formülasyonları ve de emisyonlar geniş ölçekte değişiklik gösterir ve yakın zamanda sadece sınırlı sayıda ölçüm mevcuttur. Bu da zorlukla tespit edilebilir düzeyden maksimum 70 mg/m³ arasında değişen (bu örnekte) 100 g/h'den daha az düzeye denklenmiş VOC emisyonlarını ortaya koyar.

Emisyonlar ayrıca kürlenme veya kurutulmaları gereken bağlayıcı kullanımını kapsayan bez veya kağıt mendil üretmek üzere ikincil işlemlerden de kaynaklanabilir. Yine çok az bilgi mevcuttur ve bu kullanılan maddeler ile tekniklere bağlı olarak çok geniş ölçekli çeşitliliğe işaret eder. Rapor edilen azami VOC emisyonları 150 mg/m³ ile 270 g/h'dir.

3.5.3 Su Emisyonları

[tm18 CPIV]

Emisyonlar oluşum alanı, bağlayıcı hazırlama, temizleme, soğutma, doku/bez bağlayıcı uygulaması ve su bazlı gaz yıkama sistemlerinden meydana gelir. Emisyonun ana kaynağı oluşum alanıdır. Oluşum sürecinde çıkırıkların yüksek hızı (merkezkaç etkisi) ile filamentlerin hareketi nedeniyle bir miktar uygulamalı bağlayıcı atılır. Bu şekil verme ve bükme alanını belirli aralıklarla temizlemek için kullanılan su ile birlikte ara bölgede toplanır. Filamentlere püskürtülen su da ayrıca aynı yerde toplanır.

Emisyonlar atık su sistemine akan bağlayıcı hazırlama alanındaki sızıntı ve dökülmelerden kaynaklanabilir. Yüksek hacimli soğutma suyu sistemleri düşük düzeyde su arıtım kimyasalları içerecek bir tasfiye akışı gerektirebilir. Kullanımdaki çoğu gaz yıkama sistemleri ya tasfiye akışı yada gaz yıkama ortamının periyodik tahliye ve yer değişimini gerektiren yeniden sirkülasyona giren su yıkayıcılardır. Biten her bir ton ürün için toplam su tüketimi tipik olarak 4 ile 20 m³ arasındadır ve soğutma sistemi kayıpları (tasfiye ve buharlaşma) bu rakamın %20'sine karşılık gelmektedir. Buharlaşma kayıplarının istisnası ile birlikte bu suyun büyük kısmı atık su olarak tahliye edilir. Sektör içerisindeki genel uygulama bir atık su arıtım sistemine tahliye etme veya yerinde arıtmadır.

Atık su kirletici madde konsantrasyonları aşağı akan suyun seyrelmiş olması nedeniyle genellikle çok düşüktür (herhangi bir arıtmadan önce % 0.2 katı içerikten az) ve içerikleri çoğunlukla biyolojik olarak çözülebilir niteliktedir. Kullanılan kimyasallar herhangi bir ağır metal veya tehlikeli olarak listelenen maddeler ihtiva etmezler ancak bağlayıcı terkiplerinin geniş ölçekte çeşitliliği nedeniyle fiili terkip büyük oranda sahadan sahaya değişiklik gösterir. Bazı ürünler için halen krom bazlı kuplaj aracı kullanılmaktadır ancak bu dereceli olarak bitirilmektedir.

3.5.4 Diğer Atıklar

[tm18 CPIV]

Atıklar harmanlama tesisindeki ıskarta yığınlarından ve dökülme ile sızıntılardan meydana gelebilir. Süreç hammadde kalitesine çok duyarlıdır ve genel anlamda bu gibi atıklar arazi dolumuna gönderilir (yılda 5 ile 50 ton arası).

Eritici tarafından foreheart'lara sevk edilen erimiş cam bazı küçük miktarlarda katışıklıklar içerebilir (erimemiş partiküller) ki bunlar yatak filament kırılmalarına ve böylelikle de atık cam elyaflarına neden olma potansiyeline sahiptir. Bu gibi kırıkları engellemek için drenaj yatakları foreheart'ları besleyen kanalların tabanına yerleştirilebilir. Drenaj yatakları kullanıldığında bu drenaj camı erimiş camın tipik olarak % 1 ile 5'i arasındır. Drenaj camı ya dahili olarak yeniden çevrime alınır ya da öteki uygulamalarda kullanılır. Bu materyalin dahili geri dönüşümü pek tercih edilmez çünkü yataklara akacak ayrılmış katışıklıkları tekrar fırına almayı kapsar. Bu da erimeyen materyallerin dereceli olarak birikmesine neden olabilir.

Cam akmaya devam ettiği ancak satılabilir bir ürüne dönüştürülemediği zaman ürün geçişi, ambalaj geçişi, filament kırılması nedeniyle atık cam ve elyaf meydana gelir. Çok düşük çaptaki filamentlerin imalatı kırılma düzeyi olmaksızın çok güçtür. Bu nedenle atık cam elyaf niceliği nispeten yüksek olabilir ve genellikle süreçten ana atık dizilerinden birini oluşturur. Şekil verme sürecinin tipine ve filamentlerin çapına bağlı olarak atık miktarı fırından akan eriyik camın toplam miktarının % 10'u ile 25'i arasında olabilir. Bu miktarlar hammaddelerde, fırın performans ve istikrarında sorunlar olduğunda bu miktarlar büyük oranda artabilir.

Kalıbın bitmiş ürüne dönüşümü ürünlere bağlı olarak % 3 ile 10 arasında değişiklik gösterir. Kullanılmayan materyaller genellikle kalıplar, ıskarta veya hasarlı malzemeler, test numunelerinden çoğunlukla içerden ve dışarıdan gelir. Yaygın olarak atık % 0.5 ile 10 (dokular için % 20) arasında düzeyde kaplama materyali içerir ve % 15'e kadar su ihtiva edebilir.

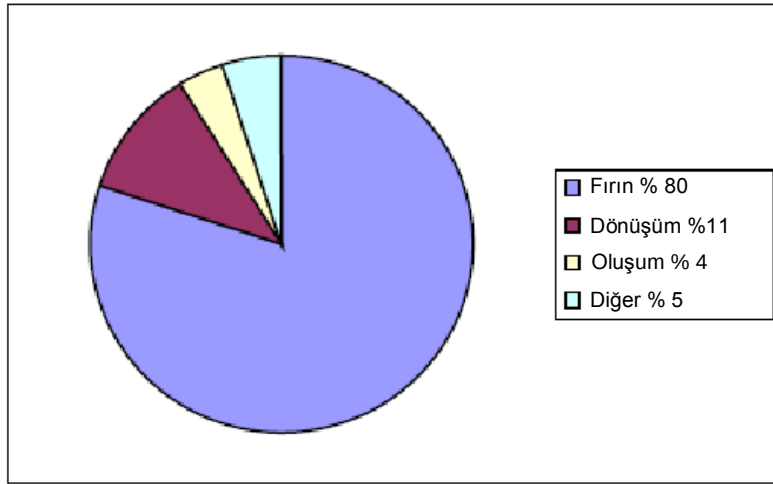
Azaltım ekipmanında toplanan toz tekrar fırına alınabilir. Şayet kuru gaz yıkama teknikleri sürece dahil edildiğinde, bu işlem çok güç olur ve harmanlama ve işleme gerektirir.

3.5.5 Enerji

[tm18 CPIV, tm14 ETSU]

Tipik bir sürekli filament sürecine yönelik enerji kullanımı dağılımı aşağıdaki Şekil 3.2'de gösterilmiştir ancak özel süreçlerde enerji kullanımı çok az da olsa değişiklik gösterebilir. Bir cam tesisinde kullanılan enerjinin üç çeyreğinden fazlasının eritme camına yayıldığı görülebilir. Şekil verme ve tavlama işlemleri toplam enerjinin % 15'ini alır. Geri kalan enerji ise servisler, kontrol sistemleri, ışıklandırma, fabrika ısıtma ve denetim ile ambalajlama gibi oluşum sonrası süreçlerde kullanılır.

Bu sektördeki çoğu fırın bazıları elektrik destekli (eritme enerjisinin % 20'sine kadar) olmak üzere gaz ile çalışan reküperatif fırınlardır. Ayrıca petrolle çalışan, oksijenle zenginleştirilmiş ve bazı oksijen-gaz fırınları da bulunur. Reküperatif fırınların hava ön ısıtma sıcaklığı rejeneratif fırınlardan daha düşüktür ve enerji gereksinimleri daha yüksektir. Bu sektörde camın elektrik iletkenliği daha düşük, halihazırda % 100 olmakla birlikte elektrikle eritme ekonomik veya teknik olarak uygulanabilir kabul edilmez.



Şekil 3.3: Tipik bir sürekli filament cam elyaf sürecindeki enerji kullanımı

Sürecin enerji tüketimi birçok faktöre dayanır, başlıcaları ana hatlarıyla Kısım 3.2.3’de verilmiştir. Eritmeye yönelik enerji tüketimi tipik olarak 11 ile 23 GJ/ton eriyiktir. Ancak bu oran özel terkip imal eden kimi küçük fırınlar için bu oran 30 GJ/tona çıkabilir. Toplam enerji tüketimi genellikle 18 ile 33 GJ/ton ranjındadır. Daha yüksek erime sıcaklıkları bu sektördeki nispeten yüksek spesifik enerji tüketimine katkıda bulunur

3.6 Evsel Cam

[tm27 Domestic]

Bölüm 1 ve 2’de açıklandığı gibi Evsel Cam Sektörü çok çeşitli farklı terkip ve fırın türlerinden çok çeşitli ürünler ortaya koyan bir sektördür. Bu nedenle süreç girdi ve çıktılarına oldukça geniş bir çeşitlilik mevcuttur. Diğer tüm sektörlerde olduğu gibi, sürecin ana çıktısı üründür. Soda-kireç üretiminde ürün ham madde girdisinin % 50 ile 90’ını (ortalama % 85) temsil eder; kurşun kristal için bu rakam % 35 ile 80 arasındadır (ortalama % 75). Diğer evsel cam türleri (kristal, opal, borosilikat ve cam seramik) iki uç arasındaki değerlere sahiptir. Aşağıdaki Tablo 3.15’de soda-kireç ve kurşun kristal için girdi ve çıktı parametreleri özetlenmektedir ve diğer evsel cam türlerine ait değerler verilen örneklerde yatar.

	Erimiş cam ton/birim	Soda-kireç Cam ranj (ortalama değer)	Kurşun Kristal ranj (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		0.08-0.21 (0.18)
Önemsiz mineral muhteviyatı	ton	0.02-0.08 (0.04)	0.005-0.02 (0.01)
Dahili kırıntılar	ton	0.15-0.4 (0.25)	0.25-0.65 (0.35)
Ambalaj malzemeleri	ton	0.06-0.20 (0.1)	0.06-0.20 (0.1)
Kalıp ve diğerleri	ton	0.001-0.003 (0.002)	0.001-0.003 (0.002)
Su	m ³	4-9 (7)	3-70 (7.5)
Hidroflorik asit (100 %)	kg/t cam ac. pol. ⁽¹⁾		40-130 (65)
Sülfürik Asit (96 %)	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		1-10 (5)
Sodyum hidroksit	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0-0.2 (0.1)
Kalsiyum hidroksit	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		1-10 (4)
Temiz yıkama suyu	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.025-0.07 (0.05)
Çıktılar			
Bitmiş, paketlenmiş ürünler	ton	0.5-0.9 (0.85)	0.35-0.8 (0.75)
Hava emisyonları			
CO ₂		150-1000 (700)	150-400 (300)
NO _x		0.9-11 (4.8)	0.9-5.0 (1)
SO _x		0.1-2.8 (0.7)	0.1-1.0 (0.2)
Toz		0.001-0.8 (0.4)	0.001-0.1 (0.02)
H ₂ O		60-500 (300)	60-250 (120)
Atık su	m ³	3.6-9.1 (6.3)	2.7-70 (6.8)
Dahili kırıntı	ton	0.15-0.4 (0.25)	0.25-0.65 (0.35)
Geri dönüşüm atıkları	kg	10-60 (30)	10-60 (30)
Diğer atıklar	kg	6-50 (10)	6-50 (10)
Geri dönüşüm atıkları			
PbSO ₄ O ₂ PbCO ₃	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.2-1.5 (0.8)
CaSO ₄	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		2-20 (7.5)
Depozisyon atıkları			
Kesme tortuları	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.3-0.7 (0.45)
Ağır metal tortuları	t/t HF(100 %) ⁽¹⁾		0.1-0.5 (0.3)

Tablo 3.15: Evsel Cam Sektörü girdi ve çıktıların genel görünümü

(1) Asit cilalamaya yönelik olarak, yüzey/hacim oranını dikkate aldığından %100 hidroflorik asit tüketimi en iyi referans parametresidir. %100 HF/ton cilalanmış cam asidi tüketimi yüzey alanı/hacim oranına ve dolayısıyla cilalanan madde tiplerine bağlı olacaktır.

3.6.1 Süreç Girdileri

Süreç girdileri yapılan ürün ve gerekli cam terkibine bağlı olarak değişiklik gösterecektir. Ana cam tipleri soda-kireç, kurşun kristal, borosilikat, opak ve cam seramiklerdir. Sektörde kullanılan ana ham maddeler aşağıdaki Tablo 3.16'da özetlenmektedir.

Cam yapıcı materyaller	Silis kumu, proses cam kırıntıları.
Cam ara ve değiştirici materyaller	Sodyum karbonat, potasyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, sodyum sülfat, alümina, nefelin siyanit, sodyum nitrat, potasyum nitrat, boraks, arsenik, antimon karbon, kurşun oksit, fluorspar.
Cam renklendirme ve renk alma ajanları	Kromiyum, demir, kobalt, bakır, manganez, nikel oksitleri ile selenyum veya çinko selenit, seryum.
Ürün kaplama ajanları	İnorganik veya organik metal kloridler. Çoğunlukla kalay tetraklorid, titanyum tetraklorid ve monobütl kalay kloridi.
Ürün yağlayıcılar	Politen bazlı yağlayıcılar ile yağlı asitler (örneğin oleik asit).
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, bütan, propan, asetelin.
Su	Ana şebeke kaynağı ve yerel doğal kaynaklar (kuyu, nehir, göller vb.).
Yan Materyaller	Plastik, kağıt, mukavva ve ahşap da dahil ambalaj malzemeleri. Kalıp yağlayıcılar, genellikle yüksek ısıda grafit bazlı salınım ajanları. Makine yağlayıcıları, çoğunlukla mineral yağlar. Proses gazları oksijen ve hidrojen. Çoğunlukla güçlü mineral asitler olmak üzere (HF, H ₂ SO ₄) ve ayrıca NaOH cilalama materyalleri. Süsleme materyalleri, enamel, kumlar. Soğutma suyu ve atık sulara yönelik su arıtım kimyasalları.

Tablo 3.16: Evsel Cam Sektöründe kullanılan Materyaller

Cam yığınının yönelik ham maddeler istenilen cam terkipini üretmek üzere doğru oranlarda harmanlanır. Soda kireç camına yönelik olarak, silikon, sodyum ve kalsiyum oksitleri camın % 90'dan fazlasına karşılık gelir (SiO₂ %71-73, Na₂O % 12-14 ve CaO % 12-14). Silikon dioksit çoğunlukla cam kırıntıları ve kumdan kaynaklanır. Sodyum oksit çoğunlukla cam kırıntıları ve soda külünden ve kalsiyum oksitten kaynaklanır. Kristal cam formülasyonlarında kurşun oksit kısmen veya tamamen baryum, çinko veya potasyum oksit ile 69/493/EEC Direktifinde belirtilen sınırlara uygun olarak yer değiştirir.

Borosilikat camlar boron trioksit (B₂O₃) ve yüksek oranda silikon dioksit içerir. Tipik bir terkip % 70-80 SiO₂, % 7-15 B₂O₃, % 4-8 Na₂O veya K₂O ve % 2-7 alüminyum oksit Al₂O₃'den ibarettir. Boron trioksit boraks veya boron içeren diğer materyallerden kaynağını alır ve alüminyum oksit çoğunlukla alüminadan kaynaklanır.

Opak camlar temel olarak silikon, sodyum, kalsiyum, alüminyum ve potasyum oksitlerden meydana gelir ancak yaklaşık % 4 veya 5 oranında fluorspar gibi minerallerden kaynağını alan florid ihtiva ederler. Hakim seramik cam oksitleri düşük seviyeli magnezyum, baryum, çinko, zirkonyum, lityum ve titanyum ile birlikte silikon, alüminyum, sodyum ve kalsiyumdur. Sektörde cam kırıntısı kullanımı değişiklik gösterir, çoğu süreç cam kırıntılarını yeniden çevrime alır ancak harici cam kırıntıları kalite değerlendirmeleri bakımından normal şartlarda kullanılmaz.

Evsel Cam Sektörü farklı türlerde rafine aracı kullanır; nitrat, sülfat ve bazı spesifik durumlarda arsenik ve antimon bileşikleri tipik olarak yığının As % 0.1 – 1 ve Sb 0.1 – 0.4. Renk alma aracı olarak tipik olarak yığının < %1 oranında selenyum da kullanılır. Kurşun kristal üretiminde genellikle camın kesildikten sonra parlatılması gerekir. Bu işlemin en yaygın yolu güçlü bir hidroflorik ve sülfürik asit karışımına batırmak ve sonra su ile durulamaktır. Bazı ürünler Kısım 3.3'de açıklanan Konteynir Cam Sektöründekilere benzer yüzey arıtımlarından geçerler.

Kullanılan yakıtlar süreçten sürece değişiklik gösterir ancak cam eritme için ya ayrı olarak ya da bir arada olacak şekilde genelde fuel oil, doğal gaz ve elektrik kullanılır. Foreheart ve tavlama lehr'leri ayrıca ısıtma ve genel servisler için de kullanılan gaz veya elektrik ile ısıtılır. Hafif fuel oil, propan ve butan bazen destek yakıtları olarak ve yüzey bitirme için kullanılır (ayrıca asetilin).

Genelde, Evsel Cam Sektöründe suyun temel kullanımı soğutma devreleri ve temizleme amaçlıdır. Soğutma suyu, genelde kapalı veya açık devrelerde, buharlaşma ve tasfiye kayıplarına ilişkin çeşitli ekipmanın soğulmasında kullanılır. Su ayrıca sürecin muhtelif spesifik ek üretim aşamalarında (kesme, cilalama, yıkama vb.) ve ıslak gaz yıkayıcı sistemler için de kullanılır. Bu nedenle fiili su tüketim yerel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterebilir (örneğin ortam sıcaklığı ve su girdisinin sertliği).

3.6.2 Hava Emisyonları

[tm27 Domestic]

3.6.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern evsel cam süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını $5 \text{ mg}'\text{m}^3$ 'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır. Ancak bu sektörün bir özelliği de bazı harman tesislerinin nispeten küçük olması ve özel yapısı ve bazı ürünlerin küçük hacimleri nedeniyle yüksek seviyede manuel (ve yarı manuel) taşıma ve aktarım olmasıdır. Bu faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar sistemlerin ne kadar iyi kontrol edildiğine bağlı olup bu konu Bölüm 4'de daha ayrıntılı ele alınacaktır. Açıkça belirtmek gerekirse potansiyel olarak zehirli bileşikler (örneğin; kurşun oksit, arsenik vb.) ihtiva eden materyallerin taşınması hallerinde bu maddelerin emisyon potansiyeli de mevcuttur. Genellikle bu emisyonları önlemek amacıyla özel kontroller kullanılır ve bunun sonucunda emisyon seviyeleri genellikle çok düşüktür.

3.6.2.2 Eritme

[tm27 Domestic]

Evsel Cam Sektöründe en büyük potansiyel çevre emisyonları eritme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlardır. Yayılan maddeler ve ilişkili kaynaklar Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Bu sektörde geniş çapta ürün mevcut olup Bölüm 2'de açıklanan eritme tekniklerinin çoğu bulunabilir. Yakıtlar doğal gaz, petrol veya elektrik olabilir. Hava emisyon ranjlarına ilişkin bir özet aşağıda Tablo 3.17'de verilmiştir. Bu veriler sadece soda-kireç ve kurşun kristal fırınlarından alınan emisyonlar içindir. Bir araya getirilen bu rakamlar örneklerle açıklanan diğer cam türlerinden kaynaklı emisyonlar ile birlikte sektörü tam kapsamlı olarak temsil ettiği kabul edilir.

Madde	Soda-kireç Cam (ortalama rakam)		Kurşun Kristal (ortalama rakam)	
	mg/Nm ³	kg/ton eriyik	mg/Nm ³ (¹)	kg/ton eriyik
Azot Oksitleri (NO ₂ olarak)	140 – 5500 ⁽²⁾ (2300)	0.9 - 11 (4.8)	1000-2000 (1500)	0.9-5.0 (1)
Kükürt Oksitleri (SO ₂ olarak)	50 - 1000 (250)	0.1 - 2.8 (0.7)		0.1-1 (0.2)
Partiküler Madde	0.5 - 400 (200)	0.001 - 0.8 (0.4)	2-10 (5)	0.001-0.1 (0.02)
Floridler (HF)	<5		0.1-1.0 (0.5)	0.0002-0.004 (0.0003)
Kloridler (HCl)	<10		0.5-5.0 (2.0)	0.001-0.003 (0.002)
Metaller (kurşun da dahil)	<5		0.05-0.5 (0.2)	0.0001-0.035 (0.01)

Tablo 3.17: Evsel cam fırınlarından kaynaklı hava emisyonları özeti

⁽¹⁾ Bu veriler konvansiyonel (yani elektrikli olmayan) fırınlara aittir

⁽²⁾ Bazı yüksek sonuçlar harmanda nitrat kullanımı veya diğer spesifik koşullar (örneğin; çok düşük çekiş hızı) ile ilgilidir.

Özel bir fırına yönelik emisyon seviyeleri yığın terakibi, kullanılan azaltım teknikleri ve fırının yaşı gibi bazı faktörlere bağılı olabilir. Florid, kurşun ve diğcr metallerin emisyonları bu maddeleri içeren bileşiklerin kullanımı ile doğrudan alakalıdır. Bazı durumlarda florid cam terakibi ihtiyacını karşılamak üzere bir ham madde olarak ilave edilirken öteki durumlarda ise bazı hammaddelerin katışıklığıdır. Materyalin bir kısmı cama dahil olurken bir kısmı ise kaçınılmaz olarak havaya yayılır. Florin genellikle HF olarak salınır ve metaller duman olarak yayılabilirken daha yaygın olarak partikülat maddede hapsolur.

3.6.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

Bazı soda-kireç ürünlerine yüzey arıtma işlemi uygulanabilir. Arıtım ve emisyonlar Kısım 3.3.2'deki konteynır cam için açıklananlara benzerdir. Çoğu ürün ateşle bitirilir ve böylelikle alev yanma ürünlerinden başka emisyonlara neden olmaz. Kurşun kristal ürünlerinin asit cilalaması genellikle gaz yıkma kuleleri devridaim suyunda veya alkali solüsyonu (örneğin sodyum hidroksit) üzerinde arıtılan asit dumanı emisyonuna neden olabilir. Bu süreçlerden kaynaklanan emisyonlar gaz yıkama sonrası oldukça düşük olma eğilimindedir. Öğütme ve kesme faaliyetleri de toz emisyonlarına neden olabilir. Bunlar genellikle sıvı altında kesme veya lokal hava ekstraksiyonu ile kontrol edilirler.

3.6.3 Su Emisyonları

[tm27 Domestic]

Diğcr endüstri sektörlerinde olduğu gibi bu sektörde suyun temel kullanımları temizleme, soğutma suyu sistemleri, sıcak cam ısıktalarının soğutulması ve yığın nemlendirme amaçlıdır. Aköz emisyonlar soğutma suyu sistem tasfiyeleri, temizleme suları ve yüzey suyu birikintileri ile sınırlıdır. Temizleme suları örneğin durağan katılar ve potansiyel yağ gibi herhangi bir endüstriyel tesiste olmayacak özel konuları temsil etmezler. Soğutma suyu tasfiyeleri çözülmüş tuz ve su arıtım kimyasallarını ihtiva ederler. Yüzey suyu kalitesi drenaj segregasyonu ve sahanın temizliğine bağılıdır.

Ancak özellikle kurşun ihtiva eden camlar olmak üzere belirli ürünlerin imalatı kurşun veya diğcr bileşikleri bulundurabilecek doğrudan emisyonlara neden olabilir. Temel potansiyel kirlenmiş atık su kaynakları: harman malzemesinin dökülmüş olabileceği alanlardan gelen temizleme suları (kurşun, arsenik, antimon vb. içerebilir) ve ürünlerin kesilme ve öğütülmesinde kullanılan sular. Çoğu süreç yerel gerekliliklere uygun olmak amacıyla damıtma, çöktürme, flokülasyon gibi teknikler kullanır. 1 mg/l'nin altındaki kurşun seviyeleri yaygındır.

Asit cilalama da ayrıca su emisyonlarına neden olur. Aside batırıldıktan sonra, camın yüzeyinde bir kurşun sülfat ve hekzaflorisilikat katmanı oluşur. Bu asidik olabilecek sıcak su ile yıkanır ve kurşun sülfat ihtiva eder. Bu suyun nötralizasyonunda kullanılan kimyasallara bağlı olarak kurşun sülfat kurşunun formunu değiştirerek başka tepkimelerde bulunabilir.

Cilalama süreci ayrıca küçük oranda cam çözülmesi ile sonuçlar ki bu ise kısmen, ayırma işlemi sonrası “aşındırma tortusu” veren tuz karışımı olarak asit banyosundan çökertilir. Bu tortu kurşun sülfat elde etmek üzere filtreleme ile veya kurşun karbonat elde etmek üzere kalsiyum ve sodyum karbonat ile tepkime yoluyla işleme sokulur. Her iki ürün de ham madde olarak (harmana tekrar sokulur) yeniden kullanılabilir. Aşındırma tortusunun işlemeden kaynaklı sıvı fraksiyonlar cilalama banyosunda yeniden kullanılabilir asidik bir çözelti sağlarlar.

Asit banyosundan çıkan dumanlar hekzaflorosilik asit (H_2SiF_6) sağlamak üzere % 35’e kadar konsantrasyonlarda suda tepkimeye girerler. Bu asidik suyun tahliye edilmeden önce nötralize edilmesi gerekir. Alternatif olarak, asit bazı durumlarda yeniden kazanılıp ve kimya endüstrisine satılabilir.

3.6.4 Diğer Atıklar

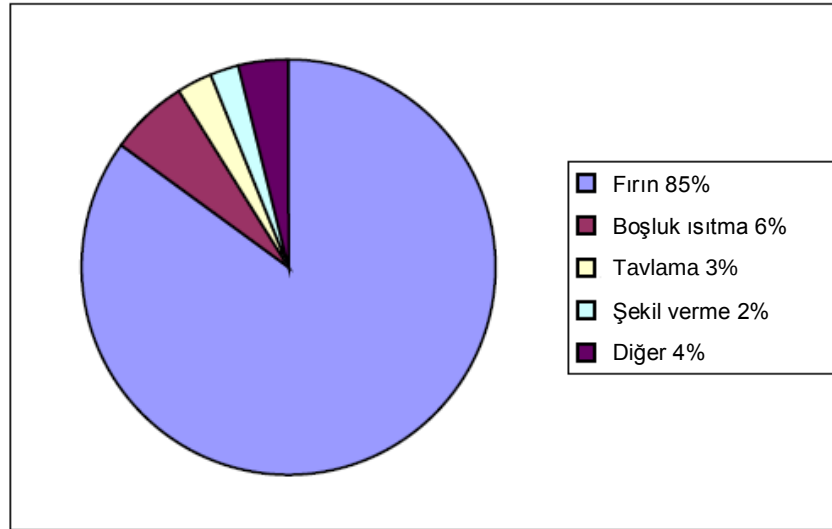
Çoğu cam atığı (cam kırıntıları) tekrar fırına alınır ve atık düzeyleri genellikle oldukça düşük olur. Ambalajlama ve fırın onarımlarından kaynaklı genel atıklar diğer sektörlerdeki gibidir. Toz kontrol sistemleri ve kuru gaz yıkamadan kaynaklı atıklar genellikle fırında yeniden çevrime alınırlar. Kurşun kristal üretiminde atık su sisteminden ayrılan sulu çamur tortuları yeniden kullanılamayacakları zaman tahliye edilmelidir. Bu tortuların oluşumu yukarıda Kısım 3.6.3’de ele alınmış olup rakamlar Tablo 3.15’de sunulmuştur.

3.6.5 Enerji

[tm14 ETSU]

Bu sektöre enerji tüketiminin değerlendirmesi çeşitliliği ve işe koşulan geniş çapta eritme teknikleri nedeniyle oldukça güçtür. Yüksek hacimde soda-kireç softa takımının üretiminin konteynır cam üretimi ile çok ortak noktası bulunur ve, bakınız Kısım 3.3.5, kıyaslanabilir enerji kullanımı dağılımını ortaya koyar. Ancak, yüksek oranda enerji kullanımı ek üretim faaliyetleri ile (örneğin ateşle cilalama ve bitirme) ilişkilidir. Eritmeye yönelik spesifik enerji tüketimi bu sektörde konteynır cam sektörüne göre daha yüksektir. Bunun nedeni fırınların daha küçük olma eğilimi göstermesi, eritme sıcaklıklarının biraz daha yüksek olması ve fırında ikame süresinin %50’den daha fazla olmasıdır.

Özellikle kurşun kristal üretimi gibi sektör içindeki bazı diğer süreçler daha küçük ölçekte yürütülür ve kap fırınlar kullanılabilir. Kap fırınlardan yüksek kalitede kurşun kristal imalatına yönelik enerji kullanım dağılımı aşağıdaki Şekil 3.4’de gösterilmektedir. Bu tabi ki bir bütün olarak sektörün tipik örneği değildir.



Şekil 3.4: Kurşun kristal imalatında enerji kullanımı (kap fırın)

Kurşun kristal imalatına yönelik toplam enerji tüketimi, hesaplanan enerji gereksinimi sadece yaklaşık 2.5 GJ/ton iken 60 GJ/ton bitmiş ürün kadar yüksek olabilir. Bu farkın birçok nedeni olmasına rağmen başlıcaları şunlardır:

- Yüksek kalite gereksinimleri yüksek ıskarta seviyelerine neden olabilir. Kap cam tarafından yavaşça çözülür, bu da üründe taş ve tel olmasına yol açar.
- Cam sıklıkla elle işlenir ve şekil vermeden sağlanan randıman %50'nin altında olabilir ve parçaların şekil verme işlemi sırasında yeniden ısıtılmaları gerekebilir.
- Kaplar kullanılmadan önce yüksek sıcaklıklarda "kurulmalı" veya ateşlenmelidir. Bu kapların sürekli fırınlarla kıyaslandığından ömürleri çok azdır.

Kurşun kristalin elektrikle eritilmesi çok daha yüksek cam kalitesi veren ve bu nedenle de daha düşük ıskarta ve daha iyi randıman sağlayan yüksek kaliteli refrakterlerin kullanımına olanak sağlar. Elektrikli eritmenin sürekli yapısı ayrıca daha verimli otomatik şekillendirme ile ilişkili olduğu anlamına gelir. Bu faktörler 25 GJ/ton ürün rakamına yakın enerji tüketimine yol açabilir. Öteki sürekli veya yarı sürekli eritme teknikleri benzer şekilde daha iyi enerji verimliliklerine öncülük edebilir.

3.7 Özel Cam

Özel Cam Sektörü geniş çapta ürün, cam oluşumu ve süreç teknikleri ile çok çeşitli bir sektördür. Çoğu tesis, diğer fırınlarla ilişkilendirilmedikçe 96/61/EC Direktifinde belirtilen 20 ton/gün kriterini karşılamazlar. Bu nedenle, sektörün tamamındaki emisyonların hepsini özetlemeye çalışmak ne faydalı ne de mümkün olacaktır. Ancak, sektör kapasitesinin %70'inden fazlası TV camı ve su bardağından ibarettir. Bu kısımda, mümkün mertebe, sektörün tamamının kapsanmasına çalışılmıştır ancak niceliksel bilgiler sadece TV camı ve su bardağı imalatı için verilmiştir.

3.7.1 Süreç girdileri [tm25 Special]

Camın kimyasal bileşimi cam tipine ve son kullanıma bağlı olarak değişiklik gösterir ve genellikle içerdiği elementlerin oksitleri bağlamında ifade edilir. Çeşitli bir sektör için "tipik" bir harman bileşimini tanımlamak güçtür. Temel ham maddeler seçilir ve erime sonrası istenilen nihai cam terkipleri elde etmek amacıyla harmanlanır. Tipik cam türleri ve bileşim ranjları Bölüm 2'de gösterilmiştir. Bölüm 2 Tablo 3.18'de bu terkipleri elde etmede kullanılan temel ham maddeler gösterilmiştir.

Tablo 3.19, 3.20 ve 3.21’de TV camı ve su bardağı imalatı girdileri için daha detaylı bilgiler verilmiştir. Bu veriler üç spesifik örnek süreç içindir.

Cam yapıcı materyaller	Silis kumu, proses cam kırıntıları.
Cam ara ve değiştirici materyaller	Sodyum karbonat, potasyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, sodyum sülfat, alümina, sodyum nitrat, potasyum nitrat, boraks, borik asit (bazı uygulamalar için saf), arsenik (As_2O_3), antimon (Sb_2O_3), karbon, kurşun oksit, stronsiyum karbonat, fluorspar, nefelin syenit, feldspars, sodyum klorid.
Cam renklendirme ajanları	Demir kromit, demir oksit, kobalt oksit, selenyum veya çinko selenit, seryum.
Yakıtlar	Fuel oil, doğal gaz, elektrik, bütan, propan, asetelin.
Su	Ana şebeke ve yerel doğal kaynaklar (kuyu, nehir, göl vb.).
Yan Materyaller	Plastik, kağıt, mukavva ve ahşap da dahil ambalaj malzemeleri. Kalıp yağlayıcılar, genellikle yüksek ısıda grafit bazlı salınım ajanları. Makine yağlayıcıları, çoğunlukla mineral yağlar. Proses gazları nitrojen, oksijen, hidrojen ve kükürt dioksit. Soğutma suyu ve atık suya yönelik su arıtım kimyasalları.

Tablo 3.18: Özel Cam Sektöründe kullanılan Materyaller

GİRDİLER / ton su bardağı		ÇIKTILAR	
Ham maddeler		Su bardağı ürünü	1000 kg
Kum (kuru)	772.1 kg	Hava emisyonları	
Sodyum karbonat	399.6 kg	Florid (HF)	0,4 g
Yan materyaller		Karbon dioksit	540 kg
Su (buhar üretimi)	7.3 kg	Karbon monoksit	0.258 kg
Su arıtım kimyasalları	0.1 kg	Klorid (HCl)	0.024 kg
Su tüketimi		Kükürt oksitleri (SO_2 olarak)	1.322 kg
Proses suyu	0.28 m ³	Toz	0.212 kg
Soğutma suyu	0.94 m ³	Azot oksitleri (NO_2 olarak)	2.028 kg
Yıkama suyu	0.18 m ³	Atık su	0.28 m ³
(geri dönüştürülen su)	68 kg	BOD	0.17 g
Enerji*		COD	0.003 g
Toplam	6053 MJ	Asılı kalan katılar	4.2 g
Geri kazanılan	708 MJ	Katı atık	0.65 kg
Tüketim	5344 MJ		

Tablo 3.19: Örnek bir su bardağı sürecine yönelik girdi ve çıktılara genel bakış [tm28 EMPA]

(*Bu süreç ısı geri kazanımlı buhar kazanı ile donatılmıştır)

GİRDİLER / ton eriyik cam	ÇIKTILAR
Ham maddeler	Ürün TV hunileri 1000 kg
Kum 327 kg	Hava emisyonları
Sodyum karbonat 53 kg	Toz 6.1 g
Kireçtaşı 35 kg	Azot oksitleri (NO ₂ olarak) 12000 g
Dolomit 18 kg	Kükürt oksitleri (SO ₂ olarak) 71.4 g
Feldspar 35 kg	Kurşun 1.4 g
Kurşun oksit 140 kg	Diğer metaller 0.14 g
Potas 70 kg	Klorid (HCl) 9.24 g
Sodyum nitrat, Ba, Sb, Zr bileşikleri 47 kg	Florid (HF) 1.37 g
Proses cam kırıntıları 20%	Diğerleri
Diğer atıklar (filtre tozu vb.) 20%	Atık su
Yan materyaller	BOD 20.9 g
Soğutma suyu (proses suyuna bakınız) -	COD 107.4 g
Proses suyu 3.6 m ³	AOX 0.2 g
Su arıtım kimyasalları 0.43 kg	Katı atık
Yağlayıcı cilalama, öğütme 0.33 kg	Toplam 15.5 g
Enerji	Ağır metallerden 2.7 g
Elektrik 893 MJ	
Doğal gaz 268 m ³	
Teknik gazlar 1.4 m ³	

Tablo 3.20: Örnek TV huni camı sürecine ilişkin girdi ve çıktılara genel bakış

GİRDİLER / ton erimiş cam	ÇIKTILAR / ton erimiş cam
Ham maddeler	Ürün TV panelleri 1000 kg
Kum 271 kg	Hava emisyonları
Sodyum karbonat 50 kg	Toz 32.6 g
Baryum karbonat 63.8 kg	Azot oksitleri (NO ₂ olarak) 2700 g
Dolomit 11.7 kg	Kükürt oksitleri (SO ₂ olarak) 81.7 g
Feldspar 58.5 kg	Antimon 3.3 g
Stronsiyum karbonat 65 kg	Diğer metaller -
Potas 46 kg	Klorid (HCl) 2.6 g
Sodyum nitrat, Ti, Co, Sb, Zr, Ni, Zn, Ce bileşikleri 50 kg	Florid (HF) 1.3 g
Proses cam kırıntıları 50%	Diğerleri örneğin NH ₃ (SCR) 100 g
Diğer atıklar (filtre tozu vb.) %	Atık su
Yan materyaller	BOD 10.6 g
Proses suyu (soğutma dahil) 1.82 m ³	COD 54.7 g
Su arıtım kimyasalları 0.33 kg	AOX 0.11 g
Yağlayıcı cilalama, öğütme 0.21 kg	Katı atık
Öğütme desteği 2.64 kg	Toplam 7.9 g
Enerji	Ağır metallerin 1.4 g
Elektrik 892 MJ	
Doğal gaz 174 m ³	
Düşük kükürtlü petrol 46.8 l	
Teknik gazlar HN ₃ (SCR) 2.0 kg	
O ₂ 1.5 m ³	

Tablo 3.21: Örnek TV panel camı sürecine yönelik girdi ve çıktıların genel görünümü (NO_x azaltımına yönelik SCR donatımlı)

3.7.2 Hava Emisyonları

3.7.2.1 Hammaddeler

Çoğu özel cam süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını $5 \text{ mg}^3\text{m}^3$ 'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır. Ancak bu sektörün bir özelliği de bazı harman tesislerinin nispeten küçük olması ve özel yapısı ve bazı ürünlerin küçük hacimleri nedeniyle yüksek seviyede manuel (ve yarı manuel) taşıma ve aktarım olmasıdır. Bu faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar sistemlerin ne kadar iyi kontrol edildiğine bağlıdır. Açıkça belirtmek gerekirse potansiyel olarak zehirli bileşikler (örneğin; kurşun oksit, arsenik vb.) ihtiva eden materyallerin taşınması hallerinde bu maddelerin emisyon potansiyeli de mevcuttur.

3.7.2.2 Eritme

Özel Cam Sektöründe en büyük potansiyel çevre emisyonları eritme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlardır. Yayılan temel maddeler ve ilişkili kaynaklar Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Özel Cam Sektörünün geniş çaptaki ve özel yapısı çoğu diğer sektörlerde karşılaşılandan daha geniş çapta hammadde kullanımına yol açar. Örneğin; CRT bacaları % 20'den fazla kurşun oksit içeriğine sahiptir (kurşun kristal ile karşılaştırıldığında); belirli cam kompozisyonları arsenik ve antimon oksitleri gibi özel rafine araçları kullanımını kapsar ve bazı optik camlar % 35'e kadar florid ve % 10 arsenik oksit ihtiva edebilir. Florid, kurşun, arsenik ve diğer metal emisyonları harmanda bu maddeleri içeren bileşik kullanımı ile doğrudan ilişkilidir.

Sektörün çeşitli yapısı nedeniyle, Bölüm 2'de açıklanan eritme tekniklerinin çoğunu bulmak mümkündür. Ancak, düşük üretim hacmi çoğu fırının oldukça küçük olması ve yaygın tekniklerin çoğunun reküperatif fırın, oksijen-gaz fırın, elektrikli eriticiler ve kuru tanklar olduğu anlamına gelir.

Bazı durumlarda örneğin CRT camı ve su bardağı imalatında rejeneratif fırınlar da kullanılır. Özel camların eritme sıcaklıkları çoğu geleneksel toplu imal edilen terkiplerden daha yüksektir. Özellikle CRT'ler borosilikat cam ve cam seramikler 1650°C 'den yüksek sıcaklıklarda eritme gerektirir.

Bu yüksek sıcaklıklar ve karmaşık formülasyonlar örneğin ton başına soda-kireç ürünlerinde olduğundan daha yüksek emisyonlara yol açabilir. Yüksek sıcaklıklar yüksek uçuculuk oranı ve NO_x formülasyonu için uygundur ve nitrat rafine araçlarının daha çok kullanılması yüksek NO_x , SO_2 ve metal emisyonlarına neden olabilir. Daha düşük ölçekte üretimin yüksek sıcaklıklarla bağlantılı olması enerji verimliliğinin genel anlamda daha düşük olması anlamına gelir.

Su bardağı eritme süreci diğer özel cam süreçlerinde olduğundan daha gelenekseldir. Ham maddeler temelde kum ve soda külüdür ve emisyonlar genellikle NO_x , SO_2 , CO_2 ve toz ile sınırlıdır. Özellikle bazı borosilikat ve cam seramik ürünlerine yönelik evsel cam gibi Cam Endüstrisinin diğer sektörleri ile özel cam arasında belirli bir örtüşme derecesi mevcuttur. Bu fırınlardan evsel cam üreten fırınlar ile karşılaştırılabilecektir.

Belirli bir fırına yönelik emisyon seviyeleri başlıca harman terkihi, fırın tipi, kullanılan azaltım teknikleri, fırının çalıştırılması ve fırının yaşı gibi birçok faktöre bağlı olabilir. Yukarıdaki üç örnek sürece yönelik emisyon seviyeleri (kg/ton ürün) tablolarda verilmiştir. Kütle ve emisyonlara yönelik emisyon örnekleri Ek 1'de verilmiştir.

3.7.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

Fırının ek üretim emisyonları duruma özgü olup ayrı ele alınmalıdır. Ancak, bir takım genel konular mevcuttur.

Su bardağı sodyum silikat çözeltisi üretmek üzere yüksek sıcaklık ve basınçta eritilir. Bu işlem herhangi bir potansiyel hava emisyonu arz etmez ancak toz emisyonlarına neden olabilecek materyal taşıma ve işleme derecesi vardır.

TV camı üretimi genellikle toz emisyonlarına neden olabilecek (baca gazı %20'den fazla PbO içerir) öğütme ve cilalama işlemlerini kapsar. Bu işlemler sıvı ile yürütülür ve hava ekstraksiyonu ve filtrelemeye sahiptir. Bu nedenle emisyon seviyeleri genelde çok düşüktür. Bazı özel cam süreçleri de ayrıca amonyak emisyonlarına neden olabilecek ikincil NO_x (SCR, SNCR) kullanır.

Birkaç ürün tipi hepsi toz yayma potansiyeline sahip değişen derecelerde kesme, öğütme ve cilalama işlemi gerektirir ve bunlar ayrı ayrı değerlendirilmelidir.

3.7.3 Su Emisyonları

Endüstrinin diğer sektörlerinde olduğu gibi, bu sektörde suyun temel kullanımları temizleme, soğutma suyu sistemleri, sıcak cam ıskartalarının soğutulması ve yığın nemlendirme amaçlıdır. Aköz emisyonlar soğutma suyu sistem tasfiyeleri, temizleme suları ve yüzey suyu birikintileri ile sınırlıdır. Temizleme suları örneğin durağan katılar ve potansiyel yağ gibi herhangi bir endüstriyel tesiste olmayacak özel konuları temsil etmezler. Soğutma suyu tasfiyeleri çözülmüş tuz ve su arıtım kimyasallarını ihtiva ederler. Yüzey suyu kalitesi drenaj segregasyonu ve sahanın temizliğine bağlıdır.

Ancak sektörün çeşitliliği tüm potansiyel emisyonların tanımlanmasının mümkün olmadığı ve her bir durumun özel olarak değerlendirilmesi gerektiği anlamına gelir. Her bir ürün için kullanılan ham maddeler ile yürütülen işlem değerlendirilmelidir. Sahada kullanılan potansiyel zararlı ham maddeler materyallerin taşındığı ve ürünlerin kesildiği veya öğütüldüğü yerlerde atık su akıntılarına girme potansiyeline sahiptir. Örneğin TV camının öğütülmesi ve parlatılması aköz akıntı üretir. Genelde katılar atılır ve sıvılar mümkün mertebe geri dönüştürülür ancak belirli seviyede tahliye seviyesi ve dökülme potansiyeli olacaktır. Yukarıdaki üç örnek sürece yönelik olarak bazı niceliksel bilgiler tablolarda verilmiştir.

3.7.4 Diğer Atıklar

Genelde çoğu dahili üretilen cam atığı (cam kırıntıları) tekrar fırına alınır ve atık düzeyleri genellikle oldukça düşük olur. Ambalajlama ve fırın onarımlarından kaynaklı genel atıklar diğer sektörlerdeki gibidir. Toz kontrol sistemleri ve kuru gaz yıkamadan kaynaklı atıklar genellikle fırında yeniden çevrime alınırlar. Kesme ve öğütme gereken süreçlerde su devrelerinden ayrılan tortular geri dönüştürülmeyecek veya yeniden kullanılmayacaklarsa tahliye edilmeleri gerekir. Üç örnek süreç için yukarıdaki tablolarda bazı niceliksel bilgiler sunulmuştur.

3.7.5 Enerji

Böyle çeşitli bir sektör için enerji tüketimine ilişkin genel bilgiler vermek çok güçtür. Üç örnek sürece ilişkin tablolar üç örneğe yönelik enerji tüketimine ait bir ipucu sunar ancak eritme tekniği, harman formülasyonu ve tesisin nasıl tasarlandığı ve işletildiğine bağlı olarak çok çeşitlilik gösterir. Cam Endüstrisine yönelik MET'ye ilişkin Hollanda raporu 12 -15 GJ/ton uç ürün ranjını alıntılar [tm29 Infomil].

Kısım 3.2.3'deki genel yorumlar bu sektöre uygulanabilir ve Bölüm 4'deki enerji verimli teknikler daha ayrıntılı bilgilerle ele alınacaktır. Özel cama ilişkin görüşler özel camlara yönelik eritme sıcaklıklarının genelde toplu imal edilen camlardakinden daha yüksek olduğu ve özel cam fırınlarının genelde diğer Cam Endüstrisi sektörlerinden daha küçük olduğudur. Bu faktörlerin her ikisi de yüksek CO₂ emisyonu ve yüksek spesifik enerji tüketimi ile sonuçlanır.

3.8 Amyant

Bu kısımda sunulan bilgiler tesis boyut ve işlemleri ile ilgilidir ancak açma ve kapatma gibi özel modları kapsamazlar. En düşük emisyon değerlerinde bazıları sahaya özgü nedenlerle bu rakamları sağlayan sadece bir tesisin işletimi ile ilgilidir ve sonuçlar sektöre yönelik MET’in göstergesi değildir.

Temel çıktı materyal girdisinin taş yünü için % 55 ile % 85 arasında, elyaf süreçleri için % 75 ile % 95 arasında olabilecek üründür. Burada önemli bir faktör hammadde kullanım verimliliğini önemli ölçüde artıracak süreç kalıntılarının geri dönüşümüdür. Kayıplar katı kalıntılar, aköz atıklar ve hava emisyonlarıdır.

3.8.1 Süreç Girdileri

Amyantın kimyasal bileşimi cam tipine ve son kullanıma bağlı olarak değişiklik gösterir ve genellikle içerdiği elementlerin oksitleri bağlamında ifade edilir. Elyaf, yün taşı veya cüruf yünü gibi herhangi bir temel amyant tipine yönelik “tipik” bir harman bileşimini tanımlamak güçtür. Temel ham maddeler seçilir ve erime sonrası istenilen nihai cam terkipleri elde etmek amacıyla harmanlanır. Harmandaki her bir hammaddenin yüzdesi büyük oranda değişiklik gösterebilir.

Cam yünü, taş yünü ve cüruf yününe yönelik karakteristik terkip ranjları Bölüm 2, Tablo 3.24’de gösterilmiş olup aşağıda bu terkipleri sağlayacak ham madde renkleri gösterilmektedir.

Cam yünü:	Silis kumu, proses kırıntıları, harici kırıntı, proses atıkları, nefelin siyenit, sodyum karbonat, potasyum karbonat, kireçtaşı, dolomit, sodyum sülfat, boraks, kolemanit.
Taş/Cüruf Yünü:	Bazalt, kireçtaşı, dolomit, yüksek fırın cürufu, silis kumları, sodyum sülfat, proses atığı, bazen örneğin döküm kumu gibi diğer süreçlerden gelen atıklar.
Bağlayıcı Materyaller:	Fenol formaldehit reçine (çözeltide), fenol, formaldehit reçine katalizörü (reçine yerinde üretilirse), amonyak, üre, mineral yağ, silikon, silan, su
Yakıtlar:	Doğal gaz, elektrik, kok (sadece taş/cüruf yünü), destek yakıtları (hafif fuel oil, propan, butan).
Su:	Ana şebeke ve lokal doğal kaynaklar (kuyu, nehir, göl vb.)
Yan Materyaller:	Plastik, kağıt, mukavva ve ahşap da dahil ambalaj malzemeleri. Çoğunlukla mineral yağlar olmak üzere makine yağlayıcıları. Proses gazları azot ve oksijen. Soğutma suyu ile atık suya yönelik su arıtım kimyasalları.

Tablo 3.22: Amyant Sektöründe kullanılan materyaller

Cam yününde ana oksitler silikon dioksit, alkali metal oksitleri (çoğunlukla sodyum ve potasyum) ve alkali toprak metal oksitleridir (çoğunlukla kalsiyum ve magnezyum). En önemli silikon dioksit kaynağı kum ve bardak camı materyalleridir. En önemli alkali ve alkali toprak metal oksit kaynakları soda külü, potas, kireçtaşı, dolomit ve az oranda geri dönüştürülmüş camdır.

Taş/cüruf yünündeki temel oksitler silikon dioksit ve alkali toprak metal oksitleridir (çoğunlukla kalsiyum ve magnezyum). Silikon dioksit temelde bazalt, briketleştirilmiş geri dönüşümlü materyal ile yüksek fırın cürufundan kaynağını alır. Alkali toprak metal oksitler kireçtaşı, dolomit ve briketleştirilmiş geri dönüşümlü materyalden kaynağını alır. Bazı taş yünü ve cüruf yünleri yüksek fırın cürufu, bazalt ve geri dönüştürülmüş malzemeden türetilmiş önemli derecede alüminyum oksit içerirler.

Tüm süreçlerde olduğu gibi Cam Endüstrisinde de önemli ölçüde ham madde eritme esnasında gaz olarak salınır. Bu kullanılan geri dönüştürülmüş ürün miktarına bağlıdır ancak tipik bir amyant süreci için tutuşma kayıpları genellikle %10 civarında olur. Harmanda karbonlu materyal kullanılması durumunda daha yüksek seviyelerde gözlenebilir.

Toz haline getirilmiş katı materyalin bazen kullanılmasına rağmen bağlayıcı ham maddeler genellikle imal edilmiş likit kimyasallardır. Bağlayıcı formülasyonlar genellikle gizli kabul edilir ve ifşa edilmezler. Fenolik reçine ya yerinde üretilir ya da harici bir tedarikçiden satıl almır. Bunun amyant sürecinin kendisinden kaynaklanan emisyonlar üzerinde çok az etkisi bulunur ancak reçine imalatı ile ilgili tüketim ve emisyon konuları olduğu açıktır. Bu konular bu belge kapsamında ele alınmamıştır ancak Kimya Endüstrisinde uygun kılavuz materyallerine göndermeler yapılmıştır.

Kullanım metot ve kapsamı imalat tekniğine bağlı olsa dahi su soğutma, temizleme, bağlayıcı seyreltme ve dispersiyona yönelik üretim süreçlerinde kullanılabilir. Temel süreçler şekil verme ve kürlleme alanlarında su buharı ve damlacıkları potansiyeli ile birlikte net su kullanıcılarıdır. Ayrıca cam yünü süreçlerine yönelik cam kırıntısı söndürme sistemi su buharı ile sonuçlanacaktır. Çoğu tesisler yüksek geri dönüşüm seviyesi ile birlikte kapalı devre proses suyu işletir. Su proses suyu sistemine ana kaynaktan veya doğal kaynaklardan götürülür.

3.8.2 Hava Emisyonları **[tm26 EURIMA]**

Amyant Sektöründe hava emisyonları üç bölüme ayrılabilir; ham madde taşınması, eritme faaliyetlerinden gelen emisyonlar ve ek üretim faaliyetleri ile hat operasyonlarından kaynaklı emisyonlar (örneğin; fiberleştirme ve şekil verme, ürün tavlama, ürün soğutma ve ürün bitirme). Ek üretim süreçlerinden nicelendirilmesi zor bir emisyon da kokudur. Kokular temelde tavlama işlemlerinden meydana gelir. Bu kısım ünite çıktısı başına konsantrasyon ve kütledeki proses emisyonlarına yönelik bilgiler sunar ve aşağıdaki tabloda atık zinciri hacimleri verilmiştir.

Süreç Faaliyeti	(x1000)	Süreç Egzoz Hacmi
Ham madde taşınması	Nm ³ /h	1 ile 5
Fırın	Elektrik	Nm ³ /h
	Alev – cam	Nm ³ /h
	Kombinasyon	Nm ³ /h
	Kupola	Nm ³ /h
	Batırılmış elektrik arkı	Nm ³ /h
	Alev – taş	Nm ³ /h
Hat	Fiberleştirme ve şekil verme	Nm ³ /h
	Ürün tavlama	Nm ³ /h
	Ürün soğutma	Nm ³ /h
	Ürün bitirme	Nm ³ /h

Tablo 3.23: Amyant süreci egzoz gazı hacimleri

3.8.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern cam yünü süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını 5 mg'm³'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı, granül boyutu ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır. Cam yünü ham madde harmanının kuru olmaya meyilli ve pnömatik yollarla aktarılmış olmasına dikkat edilmelidir. Bu nedenle ham madde taşınmasından kaynaklı toz emisyonu potansiyeli diğer bazı sektörlerdekinden yüksek olabilir.

Taş yünü süreçleri genellikle partikül çapı >50mm olan işlenmemiş ham madde kullanır. Materyaller silolarda veya bölmelerde depolanır ve manuel sistemler yada taşıyıcılar kullanılarak taşınırlar. Özellikle kuru havalarda taşıma ve depolama işlemleri sırasında rüzgardan kaynaklı toz potansiyeli bulunur. Toz emisyonlarını kontrol etmek için taşıyıcı bant ve birimleri muhafazaya almak, stokları kapatmak gibi bir dizi teknik kullanılabilir. Salınım düzeyinin nicelendirilmesi güçtür ve bu taşınan materyal miktarı ile bu tekniklerin nasıl uygulandığına bağlıdır.

3.8.2.2 Eritme

[tm26 EURIMA]

Cam yünü fırınları çoğunlukla hava-gaz ateşlemelidir (genellikle elektrik destekli). Taş yünü fırınları birkaç gazla veya elektrikle ateşlemeli örnek ile birlikte hemen hemen hepsi kok ateşlemeli kupola fırınlardır. Yayılan maddeler ile ilişkili kaynakları Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Kirlilik kontrol teknikleri ile ilişkili olduğu durumlarda emisyon oluşum mekanizması Bölüm 4'de daha ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Taş yünü kupola fırınları süreçten kaynaklanan emisyonları etkileyebilecek daha geleneksel cam fırınlarına kıyasla birtakım önemli farklılıklara sahiptir. En önemli farklılıklardan biri kupola fırınlarının güçlü azaltıcı koşullar altında çalışmasıdır. Bu nedenle NO_x emisyonları nispeten düşüktür; yakıt veya hammaddelerden salınan kükürt hidrojen sülfite düşürülür ve karbon monoksit seviyesi yüksektir.

Eritici emisyonlarını etkileyen gittikçe artan önemli bir faktör de geri dönüştürülen materyallerin katkısıdır. Eğer fiber içeren bağlayıcı fırında yeniden çevrime alınırsa organik bileşik dikkate alınmalıdır. Kupolalarda bu bir sorun değildir ancak cam fırınlarında NO_x emisyonlarını artırma etkisine sahip olması muhtemel potasyum nitrat gibi oksitleyen araçların ilave etmek gerekebilir.

Taş yün süreçlerinde, çimento proses tortularının briketleştirilmesi için sıklıkla kullanılır ve briketler eritildiği zaman SO₂ emisyonları ortaya çıkar.

Aşağıdaki Tablo 3.24’de AB’de amyant tesislerinden alınan emisyon oranları verilmiştir. Tablo 3.25’de parantez içinde kg/ton eriyik rakamları ile toplam ranjin tahmini %80’ini göstermektedir.

Madde mg/m ³ . (kg/ton eriyik)	Elektrikli Eritme Cam Yünü	Alev Ateşlemeli Fırımlar Cam Yünü	Kombine Fosil yakıt/elektrikli eritme	Kupola Fırımları Taş Yünü	Batırılmış Elektrik Ark Fırını Taş Yünü	Alev Ateşlemeli Fırımlar Taş Yünü
Partiküler Madde	2 - 250 (0.004 - 1.0)	10 - 1000 (0.02 - 4.0)	10 - 1000 (0.02 - 4.0)	10 - 3000 (0.03 - 9.0)	10 - 30 (0.01 - 0.03)	10 - 50 (0.02 - 0.1)
Kükürt Oksitleri (SO ₂ olarak)		20 - 1000 (0.05 - 4.0)	20 - 1000 (0.05 - 4.0)	150 - 3500 (0.4 - 10.0)	1000 - 3000 (1.0 - 3.0)	30 - 300 (0.06 - 0.6)
Azot Oksitleri (NO ₂ olarak)	15 - 500 (0.002 - 0.03)	100 - 1500 (0.5 - 6.0) (1)	100 - 1500 (0.5 - 6.0)	50 - 400 (0.14 - 1.1)	50 - 200 (0.05 - 0.2)	800 - 1500 (1.6 - 3.0)
Floridler (HF)	0.5 - 5 (0.003 - 0.03)	0.5 - 5 (0.002 - 0.02)	0.5 - 5 (0.002 - 0.02)	1 - 30 (0.003 - 0.09)	1 - 5 (0.001 - 0.005)	0.5 - 5 (0.002 - 0.02)
Kloridler (HCl)	0.2 - 5 (0.001 - 0.03)	1 - 30 (0.004 - 0.08)	1 - 30 (0.004 - 0.08)	10 - 150 (0.03 - 0.4)	10 - 50 (0.01 - 0.05)	1 - 30 (0.002 - 0.02)
Hidrojen Sülfid (H ₂ S)				1 - 500 (0.003 - 1.4)	0 - 5 (0 - 0.005)	
Karbon Monoksit				10 - 100000 (0.03 - 300)	30 - 100 (0.03 - 0.1)	
Karbon Dioksit	30000 - 150000 (100 - 300)	150000 - 190000 (400 - 500)	150000 - 190000 (400 - 500)	130000 - 260000 (400 - 800)	20000 - 200000 (20 - 200)	150000 - 200000 (400 - 500)
Metaller ⁽²⁾				0.1 - 30 (0.0003 - 0.09)		

Tablo 3.24: Amyant eritme faaliyetlerinden kaynaklı tam ranj emisyonlar

(1) Düşük NO_x seviyeleri oksijen-gaz ateşlemeli fırınlardan alınmıştır.

(2) Metaller çoğunlukla partiküler madde olarak yayılırlar.

Madde mg/m ³ . (kg/ton eriyik)	Elektrikli Eritme Cam Yünü	Alev Ateşlemeli Fırımlar Cam Yünü	Kombine Fosil yakıt/elektrikli eritme	Kupola Fırımları Taş Yünü	Batırılmış Elektrik Ark Fırını Taş Yünü	Alev Ateşlemeli Fırımlar Taş Yünü
Partiküler Madde	25 - 220 (0.08 - 0.9)	30 - 200 (0.06 - 0.8)	30 - 200 (0.06 - 0.8)	20 - 100 (0.06 - 0.3)	10 - 30 (0.01 - 0.03)	10 - 50 (0.02 - 0.1)
Kükürt Oksitleri (SO ₂ olarak)		20 - 100 (0.05 - 0.4)	20 - 100 (0.05 - 0.4)	400 - 2500 (1.1 - 7.1)	1000 - 3000 (1.0 - 3.0)	30 - 250 (0.06 - 0.5)
Azot Oksitleri (NO ₂ olarak)	200 - 400 (0.02 - 0.025)	500 - 1200 (2.5 - 4.8)	500 - 1200 (2.5 - 4.8)	80 - 250 (0.25 - 0.7)	50 - 200 (0.05 - 0.2)	1150 - 1250 (2.3 - 2.5)
Floridler (HF)	0.5 - 1.0 (0.003 - 0.006)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.02)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.02)	1.0 - 15.0 (0.003 - 0.03)	1.0 - 5.0 (0.001 - 0.005)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.02)
Kloridler (HCl)	0.5 - 1.0 (0.003 - 0.006)	1.0 - 15.0 (0.004 - 0.04)	1.0 - 15.0 (0.004 - 0.04)	10 - 50 (0.03 - 0.2)	10 - 50 (0.01 - 0.05)	1.0 - 25 (0.002 - 0.015)
Hidrojen Sülfid (H ₂ S)				1.0 - 200 (0.003 - 0.6)	0 - 5.0 (0 - 0.005)	
Karbon Monoksit				30 - 80000 (0.1 - 250)	30 - 100 (0.03 - 0.1)	
Karbon Dioksit	30000 - 150000 (100 - 300)	150000 - 190000 (400 - 500)	(400 - 500)	130000 - 260000 (400 - 800)	20000 - 200000 (20 - 200)	150000 - 200000 (400 - 500)
Metaller ⁽²⁾				0.1 - 2.0 (0.0003 - 0.006)		

Tablo 3.25: Amyant eritme faaliyetlerinden kaynaklı orta % 80 emisyonlar

3.8.2.3 Eritme Dışı Faaliyetlerden Kaynaklı Emisyonlar [tm26 EURIMA]

Bölüm 2’de ele alındığı üzere, amyant ürünleri genellikle fenolik reçine bazlı bağlayıcı ihtiva ederler. Bağlayıcı solüsyonu şekil verme alanındaki fiberlere uygulanır ve tavlama fırınında çapraz bağlanıp kurutulur. Şekil verme alanındaki atık gaz partikül madde, fenol, formaldehid ve amonyak içerir.

Partikül madde çoğunlukla çok küçük partikül boyutu ile hem organik hem de inorganik materyallerden meydana gelir. Düşük düzeyde VOC’lar ve aminler de bağlayıcı sistemine dahil olduklarında tespit edilebilirler. Sürecin yapısı nedeniyle gaz akışının yüksek hacim ve yüksek nem içeriğine sahiptir. Ocaktan kaynaklı salınımlar uçucu bağlayıcı materyaller, bağlayıcı kırılma ürünler, su buharı ve ocak brülörlerinden yanma ürünlerinden ibarettir.

Ocaktan çıktıktan sonra ürün geniş miktarda hava içerisinde geçerek soğutulur. Bu gazın amyant fiber ve düşük düzeyde organik materyal ihtiva etmesi olasıdır. Ürün bitirme işlemi toz emisyonlarına neden olabilecek kesme, taşıma ve ambalajlama süreçlerini içine alır.

Şekil verme, tavlama ve soğutma işlemlerinden kaynaklı emisyonlar üzerinde büyük bir etkiye sahip önemli bir faktör de yüksek bağlayıcı içerikli ürünler genelde daha yüksek emisyon seviyelerine neden olabileceğinden ürüne uygulanan bağlayıcı seviyesidir. Bağlayıcılardan kaynaklı emisyonlar belirli bir süre içerisinde uygulanan bağlayıcı katılarının kütlesine bağlıdır ve bu nedenle yüksek bağlayıcı içeriği daha az oranda yüksek yoğunluklu ürünler yüksek emisyonlara neden olabilmektedir.

Aşağıdaki Tablo 3.26’da parantez içlerinde kg/ton ürün değerleri ile birlikte AB’deki amyant tesislerinin ek üretim işlemlerinden kaynaklanan tam emisyon ranjları gösterilmektedir. Aşağıdaki Tablo 3.27’de bu ranjin takribi %80’ini gösterir.

Madde mg/Nm ³ (kg/ton ürün)	Kombine fiberleştirme, şekil verme ve tavlama	Fiberleştirme ve şekil verme	Ürün tavlama	Ürün soğutma	Ürün bitirme
Partiküler madde	10 - 200 (0.3 - 6.0)	10 - 200 (0.3 - 6.0)	5.0 - 55 (0.01 - 0.18)	10 - 50 (0.04 - 0.3)	1.0 - 50 (0.005 - 0.4)
Fenol	2.0 - 50 (0.05 - 1.6)	2.0 - 50 (0.05 - 1.5)	2.0 - 40 (0.004 - 0.11)	1.0 - 10 (0.004 - 0.06)	
Formaldehid	2.0 - 30 (0.05 - 1.2)	2.0 - 30 (0.05 - 1.0)	2.0 - 60 (0.004 - 0.17)	1.0 - 10 (0.004 - 0.06)	
Amonyak	20 - 250 (0.6 - 8.8)	20 - 250 (0.5 - 7.6)	30 - 460 (0.06 - 1.9)	1.0 - 50 (0.004 - 0.3)	
Azot Oksitleri (NO _x)			50 - 200 (0.1 - 0.6)		
Uçucu Orhanil Bileşikler (VOC)	5.0 - 150 (0.1 - 5.0)	5.0 - 150 (0.1 - 4.6)	5.0 - 150 (0.01 - 0.43)	1.0 - 30 (0.004 - 0.2)	
Karbon Dioksit	(40 - 230)		20000 - 80000 (40 - 230)		
Aminler	1.0 - 40 (0.1 - 1.3)	5.0 - 40 (0.1 - 1.2)	5.0 - 20 (0.01 - 0.06)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	

Tablo 3.26: mg/m olarak tam ranj amyant hat emisyonları

Madde mg/Nm ³ (kg/ton ürün)	Kombine fiberleştirme, şekil verme ve tavlama	Fiberleştirme ve şekil verme	Ürün tavlama	Ürün soğutma	Ürün bitirme
Partiküler madde	10 - 50 (0.9 - 1.9)	10 - 50 (0.6 - 3.5)	5.0 - 25 (0.01 - 0.07)	10 - 30 (0.04 - 0.2)	5.0 - 20 (0.03 - 0.16)
Fenol	5.0 - 25 (0.2 - 1.3)	5.0 - 25 (0.1 - 0.8)	5.0 - 15 (0.01 - 0.04)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	
Formaldehid	5.0 - 20 (0.15 - 0.43)	5.0 - 20 (0.1 - 0.6)	5.0 - 30 (0.01 - 0.09)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	
Amonyak	40 - 150 (1.8 - 5.4)	40 - 150 (1.0 - 4.5)	50 - 200 (0.1 - 0.6)	2.0 - 20 (0.007 - 0.12)	
Azot Oksitleri (NO _x)			50 - 150 (0.1 - 0.4)		
Uçucu Orhanil Bileşikler (VOC)	10 - 80 (0.2 - 2.7)	10 - 80 (0.3 - 2.4)	10 - 80 (0.02 - 0.23)	1.0 - 10 (0.004 - 0.06)	
Karbon Dioksit	(40 - 230)		20000 - 60000 (40 - 170)		
Aminler	5.0 - 20 (0.1 - 1.0)	5.0 - 20 (0.1 - 0.6)	5.0 - 10 (0.01 - 0.03)	1.0 - 5.0 (0.004 - 0.03)	

Tablo 3.27: Amyant hat emisyonlarının orta % 80 ranji

3.8.3 Su Emisyonları

Normal işletim koşulları altında süreçler net su tüketicileri olup aköz emisyonlar çok düşüktür. Çoğu süreç kapalı devre proses suyu sistemi kullanır ve mümkün mertebe soğutma suyu aşağı akar ve temizleme suyu sisteme verilir. Suların uyuşmaz olması ve hacmin çok yüksek olması durumunda ayrı olarak tahliye edilmeleri gerekir fakat çoğu tesis daha sonra sisteme verilebilecek hacim aşırı yüklemelerini barındıracak taşıma tankına sahiptir. Küçük tesislerde temiz, ısıtılan soğutma suyu kanalizasyona yada doğal su yoluna tahliye edilir. Az miktarda kirlenmiş su kimyasal bağ, dökülme ve yağ interseptörleri vb.'den kaynaklanabilir ve bunlar genellikle proses suyu sistemine tahliye edilir, saha dışı arıtımına nakledilir veya kanalizasyona tahliye edilirler.

Büyük çaplı proses suyu sistemi yüzey suyu ve cam kırıntısı sulama suyu gibi temiz su devrelerinin kontaminasyonuna yönelik potansiyel arz ederler. Sistemler zayıf tasarlanırsa veya gereği gibi kontrol edilmezlerse ciddi emisyonlar ortaya çıkabilir. Islak gaz yıkama teknikleri kullanılması durumunda, özellikle kimyasal gaz yıkama, atık su proses suyu sistemi ile uyumlu olmayabilir ve bu ise daha ileri atık akışına neden olur.

3.8.4 Diğer Atıklar [tm26 EURIMA]

Temel katı atık kaynakları:

- Harman hammadde taşımamasından kaynaklı dökülmeler
- Cam yünü imalatında fiberize makine by-pass işlemi sırasında sıcak eriyiğin suya batırılmasından üretilen proses cam kırıntıları
- Fiberize makine by-pass işlemi sırasında taş yünü süreçlerinden fiberleştirilmemiş eriyik
- Çoğunlukla elektrostatik çöktirici ve bez filtreler olmak üzere azaltım sistemlerinden toplanan toz
- Taş yünü fiberleştirme işleminden kaynaklı güller. Bu, taşıma şeridinde ulaştırılamayacak kadar ağır olan ve fiberleştirme makinesinin altında toplanan ağır lifli olmayan ve yarı fiberize materyaldir. Lifleme makinesine çarpan eriyiğin % 10 ile 20'si güllerini oluşturur.
- Ürün kenar kıymıkları
- Ürün aktarımları sırasında üretilen atık yün, hat stopajları veya şartname dışı ürünler
- Çoğunlukla % 50 civarında olan yüksek organik içerikli taş yünü filtrelerinin atıkları
- Taş yünü kupola fırınlarından demir ve eriyik
- Kupola fırınlarından karma eriyik ve taş

- k) Proses suyu devresi filtrelemesinden kaynaklı katı atıklar. Bu sürecin % 0.5 ile 2.0'ını temsil eder ve lif, bağlayıcı katıları ve %50'ye kadar nem içerir.
- l) Ambalaj atığı ve diğer genel atıklar
- m) Fırın yeniden inşasından kaynaklı refrakter atıklar

Cam yünü imalatında, harman döküntülerini, cam yünü kırıntılarını ve azaltım sisteminden toplanan tozun doğrudan fırında çevrime alınması yaygındır. Taş yünü süreçlerinde by-pass eriyik ve azaltım sistemi tozu, briketleme sistemi kullanımında olduğunda, genellikle geri dönüştürülür. Fibröz atıklar öğütme ve briketlere dahil etme yoluyla geri dönüştürülür ancak bu sadece briketleştirilmiş bir geri dönüşüm sisteminin kullanımında olduğunda gerçekleşir. Ancak kenar kırkmalari genellikle ufak parçalar haline getirilir ve şekil verme alanına geri gönderilir ve bazı durumlarda kuru atık ürünler de ufak parçalar haline getirilebilir.

Kupola kapatma ve cüruf atıkları teorik olarak briketleştirme sistemi ile geri dönüştürülür ancak bu hareketsiz olup dolgu malzemesi (örneğin; yol doldurma) olarak kullanılabileceğinden pek yaygın değildir. Ayrıca metalik demiri atıklardan ayırmak ve hurda demir olarak satmak mümkündür ancak bunu yapacak çok az mali teşvik vardır.

Amyant sektöründe geri dönüştürülen atık yüzdesinin hesaplanması halihazırda mümkün değildir. Ancak, aşağıdaki Tablo 3.28'de yazılma zamanındaki mevcut uygulamaya dair ipuçları verilmiştir.

	Cam Yünü	Taş ve Cüruf Yünü
Ürün çıktı yüzdesi olarak üretilen toplam atık.	5 ile 25 %	20 den 60 %
Geri dönüştürülen toplam atık yüzdesi.	10 ile 100 %	0 den100 %
Saha dışında tahliye edilen toplam atık yüzdesi.	0 ile 90 %	0 den100 %

Tablo 3.28: Amyant Sektörü katı atık üretim ve tahliyesi

3.8.5 Enerji

[tm26 EURIMA, tm14 ETSU]

Cam yünü eritmeye yönelik hakim enerji kaynakları doğal gaz ve elektriktir. Taş yünü, ağırlıklı olarak kok ile ateşlenen kupolalarda üretilir ve gazla ateşlenen, elektrikle ısıtılan fırınlar mevcuttur. Doğal gaz da ayrıca fiberleştirme ve tavlama yönelik olarak ciddi oranlarda kullanılır. Elektrik genel servisler için kullanılır ve hafif fuel oil, propan ve butan bazen destek yakıtları olarak kullanılır. Bu sektörde bir dizi oksijen-gaz ateşlemeli fırınlar mevcuttur.

Üç ana enerji tüketimi alanı eritme, fiberleştirme ve tavlama. Bölünme süreçleri arasında büyük ölçüde değişiklik gösterir ve ticari açıdan çok hassastır. Tablo 3.29'da ana süreç alanlarına bölünmüş amyant üretiminde toplam enerji tüketimi gösterilmektedir. Fiberleştirme, tavlama ve öteki tüketimler EIPPCB tarafından yapılan hesaplamalardır ve bu hesaplamalar [tm14 ETSU]'dan alınan rakamlar ile endüstri hakkındaki tartışmalara dayanmaktadır.

	Cam Yünü	Taş ve Cüruf Yünü
Toplam enerji tüketimi, GJ/ton bitmiş ürün.	11 ile 22	7 ile 18
Eritme, toplam enerji %.	20 ile 45 %	30 ile 70 %
Fiberleştirme, toplam enerji %.	25 ile 35 %	25 ile 35 %
Tavlama ve kurutma, toplam enerji %.	25 ile 35 %	25 ile 35 %
Diğerleri, toplam enerji %.	6 ile 10 %	6 ile 10 %

Tablo 3.29: Amyant üretiminde enerji kullanımı

Elektrikli eritme işlemine yönelik doğrudan enerji tüketimi 3.0 ile 5.5 GJ/ton bitmiş ürün ranjındadır. Elektrikli eritme işlemine yönelik enerji tüketimi % 100 hava-gaz eritme için gerekli enerjinin yaklaşık üçte biri kadardır ve her bir süreç aşamasının enerji tüketimi buna uygun olarak hesaplanabilir. Bu rakamlarda hata payı çok yüksek olmakla birlikte enerji tüketimine ilişkin bir ipucu vermektedir.

3.9 Seramik Elyaf

[tm8 S23.03, tm40 ECFIA]

Sürecin ana çıktısı üründür. Eritilecek hammaddelerin verimi genellikle %90'dan daha fazladır. Ancak eriyikten bitmiş ürün randımanının bir tahmin olduğuna dikkat etmek ve üretimin tür, doğa, hacim ve süresine göre değişiklik gösterebilir. Özellikle, en düşük seviye spesifik ve teknik açıdan zor üretimlere karşılık gelir.

3.9.1 Süreç girdileri

Yüksek saflıkta alümina-silikat ve zirkonya alümina silikat olmak üzere iki ana üretim formülasyonudur ve bunların terkipleri Bölüm 2'de verilmiştir. Ana ham maddeler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bunlar doğal (olağan yollarla işlenen) ve insan yapımı maddelerin bileşimidir.

Eritmeye yönelik ham maddeler	Alüminyum, kalsiyum, magnezyum, silikon ve zirkonyum oksitleri. Ayrıca daha küçük seviyelerde potasyum, sodyum, titanyum, demir ve kromiyum oksitleri.
İkincil işleme	Vakum oluşumu için, ıslak tutkalsı amidon, lateks, silis veya kil karışımı kullanılır. Diğer faaliyetlerde de benzer maddeler ve bazen de astar, organik polimer veya reçineler kullanılabilir.
Yakıtlar	Elektrik, doğal gaz ve bazen hafif fuel oil (destek, ısıtma)
Su	Ana şebeke ile lokal doğal kaynaklar (kuyu, nehir, göl vb.)
Yan Materyaller	Plastik, kağıt, mukavva ve ahşap da dahil ambalaj materyalleri. Mineral yağlar (fiber kaplama ile diğer genel kullanımlar). Soğutma suyu ve atık suya yönelik su arıtım kimyasalları.

Tablo 3.30: Seramik Elyaf Sektöründe kullanılan materyaller

Eriyiğe yönelik hammaddeler eritme sonrası istenilen terkipleri sağlamak üzere harmanlanır. Genelde terkinin %90'ından fazlası silikon, alüminyum ve zirkonyum oksitlerinden türetilir. Silikon dioksit temelde yüksek derece silis kumundan türetilir ve alüminyum oksit (alümina) doğal yollarla oluşabilir ancak genellikle boksitin işlenmesiyle türetilir. Zirkonyum dioksit badeleyit olarak doğal yollarla oluşur veya imal edilir.

Atık maddeler mümkünse ya doğrudan fırına toz olarak yada bazen ürünlere lif olarak geri dönüştürülür. İkincil işleme çok spesifik olabilir, vakum oluşumuna yönelik tabloda tanımlanan maddeler yaygındır ancak diğerleri de büyük ölçüde değişiklik gösterebilir.

Seramik Elyaf Sektöründeki suyun temel kullanımları soğutma devreleri ile temizleme amaçlıdır. Soğutma suyu genellikle kapalı devrelerde çeşitli ekipmanları soğutmak için kullanılır. Su ayrıca vakum oluşumu, mukavva ve kağıt işlemleri için de kullanılır. Fiili su tüketimi ve su buharı emisyonları yerel koşullara uygun olarak değişiklik gösterebilir (örneğin; oda sıcaklığı ve su sertliği)

Eritmeye yönelik enerji kaynağı münhasıran elektrik olmakla birlikte özellikle kurutma gibi ek üretim faaliyetleri için doğal gaz da sıklıkla kullanılır.

3.9.2 Hava Emisyonları

3.9.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern seramik elyaf süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını 5 mg/m^3 'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı, granül boyutu ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır.

3.9.2.2 Eritme

Eritme işleminden kaynaklanan emisyonlar genelde ham maddelerden kaynaklı tozlardan ibaret olarak çok düşüktür. Ham maddeler genellikle çok saftır ve hemen hemen sadece oksitlerden oluşur; bu nedenle çok az gazlaştırma bulunur ve neredeyse gazlı bileşik emisyonu bulunmaz. Çoğu fırın bir bez filtre yoluyla havalandırılan bir ekstraksiyon sistemi ile çalışır. Toz emisyonları genellikle 20 mg/m^3 'ün altındadır.

3.9.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

Toz ve elyaf salınımları süreç içerisindeki bir dizi alandan üretilir. Bunlar arasında fiberizasyon ve toplama, iğneleme, yağlayıcı yakımı, yarma, budama, kesme, ambalajlama ve ikincil işleme alanlarıdır. Partikülât veya elyaf salınımlarının üretilebileceği tüm alanlar genellikle bez filtre sistemi ile havalandırılan etkili bir ekstraksiyon sistemi ile çalışır. Toz emisyonları genellikle 20 mg/m^3 'ün altında ve elyaf emisyonları da $1 - 5 \text{ mg/m}^3$ ranjındadır. Genellikle 50 mg/m^3 'den daha az olan düşük organik emisyon seviyeleri bazı ikincil işleme faaliyetlerinden meydana gelebilir.

3.9.3 Su Emisyonları

Daha öncede ele alındığı üzere, bu sektörde suyun temel kullanımları temizleme, soğutma suyu sistemleri, sıcak cam ıskartalarının soğutulması ve yığın nemlendirme amaçlıdır. Aköz emisyonlar soğutma suyu sistem tasfiyeleri, temizleme suları ve yüzey suyu birikintileri ile sınırlıdır. Temizleme suları örneğin durağan katılar ve potansiyel yağ gibi herhangi bir endüstriyel tesiste olmayacak özel konuları temsil etmezler. Soğutma suyu tasfiyeleri çözülmüş tuz ve su arıtım kimyasallarını ihtiva ederler. Yüzey suyu kalitesi drenaj segregasyonu ve sahanın temizliğine bağlıdır. Tasfiye, tarama, yağ ayırıcılar ve nötralizasyon gibi basit kirlilik kontrol tekniklerine sektör içerisinde rastlamak mümkündür.

3.9.4 Diğer Atıklar

[tm40 ECFIA]

Atık düzeyleri genellikle düşüktür. Mümkün mertebe atık materyaller (harman, cam kırıntısı, kenar kırkmalrı vb.) ya doğrudan fırına ya da ürünlere geri dönüştürülür. Atık, toz azaltım ekipmanında toplanan materyal formunda da üretilir. Potansiyel kirlenme ve bileşime ilişkin belirsizlik bunu güç kılar ancak bu konuya hitaben bazı inisiyatifler devam etmektedir. Materyal yapısı nedeniyle, tahliye pahalı olabilir ve bu da alternatif bulunmasına yardımcı olur.

Çoğu mineral hammaddeler genellikle toptan yığınlar halinde sevk edilir ve ambalaj atıklarına yol açmaz. Ürün ambalajlama işlemlerinden kaynaklanan atık materyaller (plastik, mukavva ve ahşap) genellikle mümkün mertebe yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Endüstriye özgü olmayan diğer atıklar geleneksel yöntemler ile tahliye edilir veya yerel veya ulusal programların izin verdiği ölçüde geri dönüştürülürler. Fırın işlemi sonunda, refrakter yapısı sökülür ve değiştirilir. Mümkün mertebe bu materyal yeniden kullanım veya satış amacıyla yenilenir.

Bir bütün olarak AB Seramik Elyaf Sektörü, yılda 700 – 900 civarında elyaf içerikli atık ve 100 – 700 ton diğer atık üretir.

3.9.5 Enerji

[tm40 ECFIA]

Sektör içinde enerji kullanımına ilişkin mevcut çok az bilgi vardır. Eritme çok az uçucu kayıp ile birlikte münhasıran elektrikle ısıtılır. Bu nedenle, doğrudan eritme verimliliği (saha dışı süreçler hariç) oldukça yüksek iken terkinin yüksek bir eritme enerjisi gereksinimi bulunur ve fırınlar nispeten küçüktür. Enerji tüketimi 6.5 – 16.5/ton eriyik ranji arasında değişiklik gösterir. Diğer faaliyetlere yönelik enerji tüketimi 3.5 – 9.5 ranj arasında değişir (% 75 ham madde bitmiş ürün dönüşümüne dayanır).

3.10 Frit

Ana çıktı üründür ve ham maddelerden eriyik verimi kati formülasyona bağlı olarak % 75 – 80'dir. Bu kaybın çoğu eritme sırasında yayılan CO₂'den ibarettir. Süreçler cam kırıntısı üretmezler genelde çevrime alınan tek materyal verimi önemli ölçüde etkilemeyen azaltım ekipmanından kaynaklı tozdur. Eriyikten sağlanan temel ürün verimi çok yüksektir çünkü materyal basitçe söndürülür, tek kayıp sudan ayrıştırılamayan katılardır.

3.10.1 Süreç girdileri

[tm46 ANFFECC]

En yaygın formülasyonlar için kullanılan temel ham maddeler harman terkipleri ile birlikte aşağıdaki tabloda verilmiştir. Doğru rakamlar değişiklik gösterebilir ancak tablodakiler büyük ölçüde ipucu verir niteliktedir.

Frit Tipi	Ham Maddeler	Harmandaki Takribi %
Seramik/Cam Fritler	Zirkonyum bileşikleri	7.7
	Feldspar	26.8
	Quartz	25.9
	Borik asit	6.8
	Çinko oksit	8.4
	Dolomit	8.4
	Kalsiyum karbonat	13.4
	Potasyum nitrat	2.6
Enamel Fritler	Boraks	19.1
	Kuvars	42
	Sodyum nitrat	7.8
	Sodyum fluorsilikat	1.2
	Potasyum fluorsiliat	7.8
	Sodyum fosfat	3.2
	Titanyum oksit	18.9
Düşük erime noktası fritleri	Kırmızı kurşun Pb_3O_4	50
	Kuvars	19.8
	Çinko oksit	15.1
	Borik asit	15.1

Tablo 3.31: Frit üretiminde kullanılan ana ham maddeler

Su soğutma ve temizleme amaçlarıyla kullanıldığı gibi soğutma erimiş camı parçalama ve ıslak haddeleme için de kullanılır. Su devrelerinin tümü karşılık gelen buharlaşma kayıpları ile birlikte genellikle kapalı devrelerdir. Diğer su kayıpları ürünün su içeriği ve su devresinden toplanan katıların su içeriğidir. Su tüketimi 0.5 – 1.5 m³/ton fritte hesaplanır.

Kullanılan temel yakıt doğal gazdır ve çok yaygın olmamakla birlikte bazı tesislerde petrol de kullanılır (< %10). Çoğu tesis oksijen gaz ateşlemelidir ve bu nedenle nispeten çok miktarda oksijen tüketirler.

3.10.2 Hava Emisyonları

3.10.2.1 Hammaddeler

Çoğu modern konteynır cam süreçlerinde silo ve karıştırma kanalları toz emisyonlarını 5 mg'm³'ün altına düşürecek filtre sistemleri ile donatılmıştır. Hem filtreli hem de filtresiz sistemlerinden kaynaklanan kütle emisyonları aktarım sayısı, granül boyutu ve taşınan malzemenin miktarına bağlıdır. Oldukça ender ve sadece çok düşük seviyelerde olmalarına karşın bazı frit süreçleri kurşun veya öteki ağır metalleri içeren hammadde kullanımını kapsarlar. Potansiyel zehirli bileşikler içeren materyallerin taşındığı durumlarda bu maddelerin emisyon potansiyeli mevcuttur. Bu maddelerden kaynaklanabilecek en aza indirmek amacıyla değişmez etkili tedbirler alınacaktır.

3.10.2.2 Eritme

Frit Sektöründe en büyük potansiyel çevresel emisyon eritme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarıdır. Yayılan maddeler ve ilişkili kaynaklar Kısım 3.2.2.1'de tanımlanmıştır. Bu sektördeki fırınların çoğunluğu hem doğal gaz hem de fuel oil olmak üzere çoğunlukla fosil yakıtlarla ısıtılır. Aşağıdaki tabloda bu sektördeki emisyon ranjları gösterilmektedir, ancak hiçbir istatistiksel döküm yoktur.

Madde	Konsantrasyon mg/m ³ .	Kütle emisyonu kg/ton eriyik
Toz	5 – 850	0.1 - 9.0
Azot oksitleri (NO ₂ olarak)	290 – 2000	0.4 - 16.0
Kükürt oksitleri (SO ₂ olarak)	<50 - 4000	0.4 - 32.0
Kloridler (HCl)	0.1 - 20	<0.01 - 0.16
Floridler (HF)	0.1 - 100	<0.01 - 0.8
Metaller	<1 - 25	<0.01 - 0.2

Tablo 3.32: Frit fırınlarından kaynaklı emisyon düzeyleri

Toz emisyonları azaltım sürecinin uygulanıp uygulanmadığına bağlıdır ve çoğu tesis bez filtreye sahiptir. Azot oksit emisyonları çoğunlukla yakma sistemine bağlıdır ve çoğu fırın oksijen gaz ateşlemelidir ve bunlar yukarıda verilen en düşük kütle emisyon rakamlarını temsil ederler. Çoğu fırın gazla çalışır ve kükürt oksit emisyonları harmanın sülfat seviyesine bağlı olarak 200 mg/m³'den daha azdır.

3.10.2.3 Ek Üretim Faaliyetleri

Ek üretim faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonları çok düşüktür. Haddeleme işleminin büyük çoğunluğu ıslak yürütülür ancak kuru haddeleme azaltım uygulanmadığında toz emisyonlarına yol açabilir.

3.10.3 Su Emisyonları

Su emisyonları normal soğutma, temizleme ve yüzey suyu emisyonlarından ibarettir. Su verme ve haddeleme devreleri genellikle taze su ile kapalıdır ancak bazen tuz birikimini önlemek üzere tasfiye edilir. Emisyon seviyeleri oldukça düşüktür ancak askıya alınan katı maddeler içerebilir ve bazı koşullarda da bu askıda alınan katılarda ağır metaller bulunabilir. Metaller genellikle camda bağlıdır ve katı ayırma teknikleri ile temizlenebilirler.

3.10.4 Diğer Atıklar

Atık seviyeleri genellikle çok düşüktür. Ana işleme atıkları su devrelerinden ayrılan katı materyallerdir. Bu materyal ترکیbi çok değişken olduğundan genellikle geri dönüştürülmezler. Çoğu tesiste atığın iyi üretime oranı % 0.5 – 3 ranjında olacaktır.

Ürün ambalajlama işlemlerinden kaynaklanan atık materyaller (plastik, mukavva ve ahşap) genellikle mümkün mertebe yeniden kullanılır veya geri dönüştürülür. Endüstriye özgü olmayan diğer atıklar geleneksel yöntemler ile tahliye edilir veya yerel veya ulusal programların izin verdiği ölçüde geri dönüştürülürler. Fırın işlemi sonunda, refrakter yapısı sökülür ve değiştirilir. Mümkün mertebe bu materyal yeniden kullanım veya satış amacıyla yenilenir.

3.10.5 Enerji

Bu sektörde enerji kullanımı ile ilgili mevcut çok az bilgi bulunur. Fırınlar çoğunlukla (> % 90) gazla çalışır ancak bir takım petrolle çalışan ve çift ateşlemeli fırın da mevcuttur. Ticari ölçekte elektrikle eritme konusunda bilinen çok az örnek mevcuttur. Fırınlar Cam Sektöründeki çoğu fırına nispeten çok küçük olma eğilimindedir ve günde 20 tondan büyük birkaç fırında bulunur ve birçok fırın daha küçük harman fırınlarıdır. Genellikle her biri farklı formülasyon üreten özel bir tesiste birkaç küçük fırın bulunur. Ancak rafine gereksinimleri genellikle daha az ve eriyik ton başına toplam enerji tüketimi diğer sektörlerle kıyaslanabilir (yaklaşık 13 GJ/ton). Eritme dışı enerji kullanımı düşük düzey ek üretim süreci nedeniyle çok düşüktür ve ürünler genellikle kurutulmaz.

Kuzey Avrupa'daki çoğu fırın oksijen gaz ateşlemelidir ve bu ciddi oranda enerji tasarrufuna olanak sağlar. Birçok vakada gaz kullanımında % 50'den fazla düşüş bildirilmiştir.

4 MET BELİRLENMESİNDE DEĞERLENDİRİLECEK TEKNİKLER

4.1 Giriş

Bu bölümde hem genel hem de herhangi bir özel tesise yönelik olarak mevcut en iyi tekniklerin belirlenmesinde en uygun kabul edilen emisyon azaltım tekniklerini sunulmaktadır. Cam Endüstrisi geniş çapta ürün, süreç ve imalat tekniklerini kapsar ve bu nedenle geniş çapta azaltım teknikleri kullanılabilir. Ancak, tekniklerin uygunluğu ve etkililiği uygulamalar arasında önemli ölçüde değişiklik gösterir.

Bu bölüm aşağıdaki konuları kapsayan yedi ana kısımdan oluşur:

- Eritme tekniklerinin seçilmesi.
- Malzemelerin taşınması.
- Eritme faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarının kontrol edilmesine yönelik teknikler.
- Eritme dışı faaliyetlerden kaynaklanan hava emisyonlarının kontrol edilmesine yönelik teknikler.
- Su emisyonlarının kontrol edilmesine yönelik teknikler.
- Diğer atıkların en aza indirilmesine yönelik teknikler.
- Enerji.

Bir bütün olarak Cam Endüstrisinin çevre üzerindeki temel etkisi eritme faaliyetlerinden ortaya çıkan hava emisyonlarıdır. Bu emisyonları azaltmada kullanılan teknikler bu bölümün en geniş ve en ayrıntılı kısım olan 4. Kısım'da açıklanmaktadır. Açıklanan tekniklerin çoğu Cam Endüstrisindeki tesislerin çoğunluğu ile ilgilidir ve ortak bir temeli paylaşırlar. Bu nedenle, Kısım 4.4 madde temeline dayalı yöntemle yapılandırılmış olup her bir madde için çeşitli emisyon azaltım teknikleri açıklanmıştır. Teknikler, üzerinde en büyük etkiye sahip maddeye ilişkin kısımda açıklanmıştır ancak çoğu teknik için çoklu madde etkilerinin bulunması kaçınılmazdır. Mümkün mertebe diğer maddeler üzerindeki etkiler açıklanmış olup diğer kısımlara çapraz başvurular yapılmıştır.

Belgenin çeşitli bölümlerinde birincil ve ikincil azaltım tedbirleri ifadeleri kullanılmaktadır. Bu ifadeler kesin ve tam olmamakla birlikte bazı tekniklerin kategorize edilmesine yardımcı olurlar. Genelde, birincil teknikler kirlетici madde oluşumlarını azaltan veya engelleyen tekniklerdir; ikincil teknikler ise kirlетici maddeleri daha az zararlı hale getirmek üzerinde etkiye bulunan (örneğin, onları başka türlere dönüştürerek) veya onları yeniden kullanılabilir, geri dönüştürülecek yada tahliye edilecek bir formda toplayan tekniklerdir. Açıklanan tekniklerin bazıları her iki kategoriye de uygun olarak sokulamaz ve mümkün mertebe bu duruma metin içerisinde açıklık getirilmiştir.

Mümkün surette, tekniklere yönelik bilgiler tutarlı bir yolla sağlanmış, beş genel başlık altında gruplanmıştır. Ancak bazı teknikler için (özellikle birincil tekniklerin bazıları için) bu yöntem bilgileri en mantıklı veya etkili sunuş yolu olup mümkün mertebe kısımlar farklı yapılandırılmıştır. Beş genel başlık şunlardır:

- Tekniğin açıklaması – tekniğin ilkelerini ve Cam Endüstrisinde nasıl kullanılabileceklerini ele almak.
- Çevre performansı – erişilen emisyon seviyelerinin açıklamak.
- Mali hususların değerlendirilmesi – maliyetlere ilişkin mümkün mertebe bilgiler içermek (sermaye, işletim ve altyapı).
- Uygulanabilirlik – farklı uygulamalara ilişkin konuları kapsamak.

- İlişkili hususlar – ortam içi ve ortamlar arası sonuçlar ile emisyon seviyeleri ve maliyetlerden başka hususlar üzerindeki etkileri içermek (örneğin; enerji kullanımı, süreç esnekliği, ürün kalitesi, fırın ömrü, yerleşke dışı emisyonlar ve süreç çevrimi içerisindeki katılaşmaların birikimi).

Bu bölüme yönelik önemli bir değerlendirme de bir uygulamada başarısı olan bir tekniğin farklı bir sektörde hatta aynı sektördeki farklı bir tesiste kullanılması halinde çok farklı çıkarımlara sahip olabileceğidir. Maliyetler, çevre performansı ve ilişkili fayda ve zararlar farklı sektörler ve bireysel tesisler için büyük çapta değişiklik gösterebilir. Her bir teknik için, bu tekniğin bir dizi durumda elverişliliği ve olası uygulanabilirliği tartışılır.

Bu bölümde açıklanan herhangi bir tekniğin uygulanabilirliğin değerlendirilmesinde, örneğin eritme sürecinde, kampanya süresince fırına uygulanabilmesi veya uygulanamamasını veya sadece bir yeniden inşaada uygulanabiliyor olmasını (veya en iyi uygulanmasını) dikkate almak gerekir. Cam Endüstrisinin önemli bir özelliği fırınların değişen nispetlerde yeniden inşa edilmeleri veya onarılma zamanlarından sonra sınırlı işletim ömrüne sahip olmalarıdır. Genelde, konteynır cam, düz cam, cam yünü, sürekli filament fiberglas ve su bardağı üreten fosil yakıt ateşlemeli fırınlar 8 ile 12 yıl boyunca sürekli olarak çalışırlar. Özel cam ve evsel cam fosil ateşlemeli fırınlar genellikle 3 ile 8 yıl boyunca sürekli çalışır. Elektrikle ısıtılan fırınlar tüm uygulamalarda örneğin 2 ile 7 yıl arası gibi kısa işletim ömürlerine sahip olma eğilimindedirler. Kupola fırınları ve harman eriticiler gibi diğer bazı fırınlar birkaç gün ile birkaç hafta gibi çok daha kısa süreler boyunca çalıştırılırlar.

Sürekli süreçlere yönelik iki ana yeniden inşa kategorisi mevcuttur:

- “Normal” bir yeniden inşaada, fırının refrakteri ve mümkün mertebe rejeneratörler materyalin tam veya kısmi olarak değiştirilmesiyle onarılır. Fırın alevi önemli ölçüde ayarlanmaz ve fırın boyutları temelde değişmeden aynı kalır. Fırın gereksinimleri veya teknolojiye önemli bir değişiklik olmayan hallerde bu kampanyalar arasındaki en yaygın yeniden inşa tipidir.
- “Komple” yeniden inşa genellikle, refrakter materyalinin değiştirilmesine ilaveten önemli bir ayarlama veya fırın çatısının değiştirilmesini kapsar. Çoğu durumda mevcut altyapının çoğunun ve özellikle rejeneratörlerin muhafaza edilmesine rağmen yeni bir fırının yapımı ile karşılaştırılabilir. Bu tip bir yeniden inşa daha az yaygındır ve genellikle fırın gereksinimlerinde veya teknolojiye önemli bir değişiklik (örneğin; ciddi derecede artan eritme alanı veya ateşleme kapasitesinde önemli değişiklikler) söz konusu olduğunda gerçekleştirilir. Komple bir yeniden inşa genellikle normal bir yeniden inşadan önemli ölçüde daha yüksek maliyetleri kapsar.

Fırın kampanyası sırasında fırını değiştirme fırsatı sınırlıdır. Hasarlı refraktörlerin değiştirecek sıcak onarımlar sıklıkla gerçekleştirilir ve brülör modifikasyonları veya değiştirilmesi de nispeten direkt olabilir. Eritme teknolojisini etkileyen büyük değişiklikler genellikle fırın yeniden inşaları ile çakıştığında en ekonomik şekilde hayata geçirilirler. Bu ayrıca karmaşık ikincil azaltım tedbirleri için de geçerli olabilir. Ancak, ikincil tekniklerin tesisi de dahil olmak üzere fırının çalışmasına yönelik birçok geliştirme işletim kampanyasının süresince mümkündür. Mümkün mertebe bu konular çeşitli tekniklerin uygulanabilirliğinin değerlendirilmesinde ele alınır.

“Normal” yeniden inşa ile “komple” yeniden inşa arasındaki ayrım kesin değildir ve en basit normal yeniden inşa ile komple yıkım ve fırının yeniden top yekun değiştirilmesi arasında bir dizi nicelik farkı mevcuttur. Örneğin, spesifik bir hasarı onarmak veya küçük bir modifikasyon ilave etmek amacıyla küçük bir onarım ya sıcak ya soğuk olarak yürütülebilir. Ayrıca küçük yeniden inşalar programlı soğuk onarım yapıldığı hallerde gerçekleştirilebilir ancak refrakterin çoğu muhafaza edilirken sadece hasarlı parçalar değiştirilir. Hem maliyet hem de yeni bir teknoloji uygulama özgürlüğüne etki eden en önemli fark fırın iskeletine ve dolayısıyla boyutlarına yönelik önemli bir değişikliğin yapıp yapılmadığıdır.

Daha sık yeniden inşalı ve daha düşük sermaye maliyetli daha küçük fırınlara yönelik olarak, çevresel gelişimler ile fırın onarımlarında eşgüdüm sağlama faydaları daha az önemlidir ancak çevresel gelişimler diğer yatırımlar ile eşgüdüm sağlandığında daha ekonomik olabilir.

4.2 Eritme Tekniğinin Seçimi

Cam Endüstrisinde kullanılan eritme teknikleri Bölüm 2’de açıklanmaktadır. Küçük kap fırınlarından bir günde 600 tondan fazla cam üreten büyük rejeneratif fırınlara kadar ebat olarak değişiklik gösterirler. Eritme tekniğinin seçimi özellikle gerekli kapasite, cam biçimlendirmesi, yakıt fiyatları ve mevcut altyapı olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Seçim, yeni bir tesis veya bir fırın yeniden inşasına yönelik alınan en önemli ekonomik ve teknik kararlardan biridir. Tüm diğerlerinden daha önemli olan faktörler gerekli kapasite ve cam tipidir.

Rejeneratif veya reküperatif fırın arasındaki seçim genellikle MET belirlemede önemli bir değerlendirme olmayan ekonomik ve teknik bir karardır. Bu nedenle, çevresel hususlar burada sadece özet olarak ele alınır. Konvansiyonel hava yakıt ateşleme ile elektrikli veya oksijen-yakıt eritme arasındaki seçim MET değerlendirmesinde önemli bir faktördür ve bu teknikler ayrı ayrı açıklanır. Benzer şekilde, örneğin Sorg LoNOx eritici gibi diğer spesifik eritme teknikleri madde spesifik sektörlerde ayrı olarak ele alınır.

Bölüm 2’de açıklanan tekniklerden her biri içsel fayda, zarar ve kısıtlamalara sahiptir. Örneğin, yazılma zamanında yüksek hacimli yüzdürme cam üretmenin en teknik ve en ekonomik yolu büyük çapraz ateşlemeli rejeneratif fırınlarla gerçekleştirilir. Alternatifler ya hala sektörde tamamen kanıtlanmamış (örneğin; oksijen-yakıt eritme) ya da işin ekonomik veya teknik hususları ile uzlaşmamaktadır (örneğin; elektrikli eritme veya reküperatif fırınlar).

Fırının çevresel performansı eritme tekniği seçimi, işletim metodu, ikincil azaltım tedbirleri şartı kombinasyonunun bir sonucudur. Çevresel bakış açısından, niteliği gereği daha az kirlетici olan veya birincil araçlarla kontrol edilen eritme teknikleri ikincil azaltıma dayanan tekniklere tercih edilir. Ancak, ekonomik ve teknik elverişlilikler dikkate alınmalı ve nihai seçim en uygun düzeye getirilmiş denge olmalıdır.

Çeşitli eritme tekniklerinin çevresel performansı üretilen cam tipi, işletim metodu ve tasarıma bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterir. Örneğin, ilave nitrattı ve kampanyanın sonuna yaklaşan reküperatif bir TV camı fırından kaynaklanan emisyonlar (ikincil azatlımdan önce) en uygun düzeye getirilmiş geometri, biçimlendirme ve ateşlemeye sahip yeni inşa edilmiş bir reküperatif sürekli filament fırını ile çok az benzerlik taşır. Bu faktörler çeşitli eritme tekniklerinin doğrudan niceliksel mukayesesini güç kılmakla birlikte aşağıdaki kısımlarda Bölüm 2’de açıklanan her bir teknik için ana çevresel hususlar özetlenmektedir. Oksijen yakıt eritme ve özel eriteç tasarımları sırasıyla Kısım 4.4.2.5 ve 4.4.2.3’de ele alınmıştır. Farklı fırın tiplerinden kaynaklı emisyonlardaki farklılıklar mümkün mertebe bu Bölümün maddeye özgü kısımlarında ele alınmaktadır.

Teknolojide köklü bir değişiklik olduğundan ve emisyonlar üzerinde çok önemli etkileri olduğundan elektrikli eritme aşağıda açıklanan diğer tekniklerden farklılık gösterir. Elektrikli eritme MET belirlemesindeki değerlendirmelere yönelik spesifik tekniklerden biri olarak sunulur. Ancak, tüm emisyonlar üzerindeki etkisi nedeniyle bu Bölümün madde bazlı yöntemine uymaz, bu nedenle bu kısımda sunulmuştur.

Rejeneratif Fırınlar

Bu fırınların enerji verimliliği genellikle, daha verimli yanma hava ön ısıtma sistemi nedeniyle diğer konvansiyonel fosil yakıt ateşlemeli fırınlardan daha yüksektir. Her bir ton erimiş cam başına düşük enerji kullanımı yanma ile ilişkili kirleticilerin çoğunda azalmalara yol açar. Ancak yüksek ön ısıtma sıcaklıkları daha yüksek NO_x oluşumlarını kolaylaştırır. Bu fırınlar özellikle NO_x'e yönelik olarak birincil emisyon kontrol teknikleri ile çok iyi neticeler ortaya koymuştur. İki rejeneratif fırın tipinden, uç ateşlemeli fırınlar daha iyi enerji verimliliği ve daha düşük emisyon ortaya koyma eğilimindedir. Ancak bazı durumlarda birincil NO_x kontrol tedbirleri çapraz ateşlemeli fırınlarla daha büyük azaltımlara neden olabilir.

Rejeneratif fırınların yüksek sermaye maliyeti bu fırınların büyük ölçekli cam üretimi için normalde sadece ekonomik açıdan uygun olduklarını ifade eder (daha küçük fırın örnekleri olmasına rağmen genellikle günlük >100 ton). Günde >500 ton üretim oranları için çapraz ateşlemeli fırınlar genellikle fırında boylu boyunca iyi ısı kontrolü sağlamak üzere kullanılır.

Rekuperatif Fırınlar

Bu fırınların enerji verimliliği rejeneratif fırınlardan daha azdır, ancak yine de rekuperatör sistemi vasıtasıyla ciddi miktarda ısı toparlarlar. Enerji verimliliğindeki ilerlemeler elektrik desteği, atık ısı buhar kazanları, gaz ön ısıtma ve harman/kırıntı ön ısıtma gibi ileri teknikler kullanılarak mümkündür. Ön ısıtma sıcaklıkları rejeneratif fırınlardakinden daha düşüktür ve birincil NO_x kontrolleri ile iyi neticeler elde edilebilir.

Kombine Fosil Yakıt ve Elektrik Eritme

Bu tekniğin kullanılmasında başta elektrik destekli fosil yakıt ateşleme veya fosil yakıt destekli elektrik ısıtma olmak üzere başlıca iki yöntem mevcuttur. Elektrik desteği mühimmatı çoğu fırına tesis edilir ve toplam enerji girdisinin % 2 – 20'si oranında katkıda bulunur. Genel olarak konteynır ve yüzdürme cam fırınlarında elektrik maliyeti nedeniyle elektrik desteği miktarı çok sınırlıdır (<5 %). Elektrik desteği belirli bir cam çekiş hızına yönelik olarak elektrik ısıtması yoluyla kısmi yanma ikamesi ile fırından kaynaklı doğrudan emisyonları azaltacaktır. Aşağıdaki Kısım 4.2.1'de ele alındığı üzere daha bütünsel bir görüş edinildiğinde, yerinde sağlanan azaltımlar güç üretimi ile ilişkili emisyonlara karşı değerlendirilmelidir.

Elektrik desteği ile ilişkili yüksek maliyetler, taban seviyesi üretimine yönelik genellikle uygulanabilir uzun vadeli emisyon azaltım seçeneği olmadığı anlamına gelir. Kullanımının ekonomik ve teknik hususlarla belirlendiği işletimsel bir araçtır. Elektrik desteğinin fırın emisyonları üzerinde faydalı bir etkiye sahiptir ve eritmeyi iyileştirmek ve emisyonları azaltmak üzere düşük NO_x brülörleri gibi tekniklerle bir arada kullanılabilir ancak tek başına kullanıldığında düşük maliyetli bir seçenek değildir. Elektrik desteği ayrıca ısı aktarımına yardımcı olan fırın içerisindeki konvektif akımları geliştirmek için kullanılabilir ve arıtıma yardımcı olabilir.

Ağırlıklı olarak elektrikle ısıtılan bir fırın üzerindeki fosil yakıt aşırı yakma çok az yaygın kullanılan bir tekniktir. Elektrikli eritmenin çevresel faydalarının çoğunun teknik ve ekonomik kısıtlamalarının bazılarının üstesinden gelerek gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Açıkçası, yakıt yakma ile ilişkili emisyonlar mevcuttur ve bunlar ısı kaynağı oranına dayanır. Bu bölümde ele alınan emisyon azaltım tekniklerinin çoğu düşük NO_x brülörleri ve oksijen-yakıt eritme de dahil olmak üzere bu fırınlarda uygulanabilir.

Sürekli olmayan Harman Eritme

Geleneksel olarak düşük hacimli sürekli olmayan eritme işlemi için kullanılan teknik, devir tankları ve Flex Eritici gibi öteki tekniklerin daha yaygın olmasına rağmen kap fırınıdır. Tekniğin seçilmesi özellikle üretim derecesi, üretilen farklı formülasyon sayıları ve müşteri gereksinimleri olmak üzere genellikle spesifik tesisin lojistik özelliklerine bağlıdır. Bu bölümde açıklanan birincil azaltım tedbirlerinin çoğu çok veya az oranda bu fırınlara uygulanabilir. En etkili tekniklerin harman düzenleme ve yakma tekniklerinin optimizasyonu olması muhtemeldir. Kap fırınlarının tasarımı nedeniyle teknikler genellikle devir tankları ve yarı sürekli fırınlara yönelik olarak daha iyi sonuçlar verecektir. Devir tankları veya sürekli/yarı sürekli eritme işleminin mümkün olduğu durumlarda genellikle daha iyi enerji verimliliği ile daha düşük emisyon elde edilecektir.

Taş Yünü Eritme

Taş yünü eritmeye yönelik en yaygın kullanılan teknik, elektrikli eritme ve gazla çalışan fırınlar olmasına rağmen sıcak kupola fırınıdır. Çeşitli durumlarda bu diğer seçenekler tekniklerin uzun vadeli uygulanabilirliğini inceleyecek tam ölçekli gelişimsel tesisler olarak tasarlanmış veya özel yerel şartlar nedeniyle seçilmişlerdir. Sıcak yüksek kupola fırınının bir dizi işletimsel faydaları mevcuttur ve sektör içerisinde tercih edilen tekniktir. Alternatifler ya hiç maddi çevresel fayda ortaya koymaz yada daha geniş uygulamalara yönelik teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir oldukları kanıtlanmamıştır.

4.2.1 Elektrikli Eritme

Tekniğin Açıklaması

Çeşitli sektörlerde yaygın temel eritme tekniği olduğundan bu teknik Bölüm 2’de açıklanmaktadır Elektrikle eritme işleminin kirletici emisyonları üzerinde önemli etkileri vardır bu nedenle “birincil” azaltım tedbiri olarak bu konuda ayrıca ele alınmaktadır.

Çevresel Performans

Fırındaki fosil yakıtlarının komple değiştirilmesi yakma ürünü yani kükürt oksitler, termal NOx ve karbon dioksit oluşumunu bertaraf eder. Geri kalan emisyonlar partikül taşınımı ve özellikle karbonatlardan CO₂, nitratlardan NOx ve sülfatlardan SOx olmak üzere harman materyallerinin ayrışmasından kaynaklanır. Çoğu uygulamada sülfat kullanımı, arıtma için önemli olmadığından ve temelde oksitleştirici araç olarak kullanıldığından oldukça düşüktür.

Materyallerin ham maddelerde mevcut olduğu hallerde ayrıca düşük halide emisyonları (örneğin; HF) veya metaller bulunabilir. Ancak emisyonlar ilave edilen florid oluşumlarından önemli olabilir. Tüm uçucu harman bileşiklerinin emisyonu, indirgenmiş gaz akışı ve genellikle eriyiğin tüm yüzeyini kaplayan harman örtüsündeki gazlı emisyonların emilim, yoğunlaşma ve tepkimesi nedeniyle konvansiyonel fırınlardan ciddi oranda daha düşüktür.

Fırınlar genellikle bir yanda açıktır ve gazlı emisyonlar ile eriyikten çıkan ısı nedeniyle önemli hava akımları bulunur. Toz, gaz ve ısının iş ortamına girmeden kaçmasına olanak sağlayacak bir çeşit havalandırma temin etmek genellikle gereklidir. Bu ise ya doğal çekiş ya da ekstraksiyon yoluyla sağlanır. Doğal gaz ile yayılan atık gazlar çok düşük hacimde olabilir ancak yüksek toz konsantrasyonu ve zayıf dispersiyon özelliklerine sahip olabilir.

Toz emisyonları ilgili düşük hacimler nedeniyle genellikle bez filtre olan bir toz azaltım sistemine ekstraksiyon yoluyla kontrol edilebilir. Bu düzenleme düşük toz emisyonlarına neden olur ve gerekli ise kuru gaz yıkama yoluyla HF emisyonlarının arıtılmasına olanak sağlar. Kısım 4.4.1.3 ile 4.4.4.2’ye bakınız.

Sağlanan filli emisyonlar büyük ölçüde harman biçimlendirmesine bağlıdır ve düşük atık gaz akışları nedeniyle emisyon konsantrasyonlarının karşılaştırılması yanıltıcı olabilir. Ancak genel bir ipucu olması açısından toplam doğrudan emisyonlar kıyaslanabilir çekiş oranlı konvansiyonel hava ateşlemeli bir fırın ile karşılaştırıldığında 10 ile 100 arasında bir faktörle azalır. Bazı filli niceliksel veriler amyant tesislerine yönelik olarak Bölüm 3 ile Ek 1’deki vaka incelemelerinde verilmiştir.

Mali Düşünceler

Elektrikle eritmenin ekonomik uygulanabilirliği temelde elektrik ve fosil yakıtlar arasındaki fiyat farkına bağlıdır. Yazılma zamanında birim enerji başına ortalama elektrik maliyetleri fuel oil maliyetlerinin 4 ile 5 katıdır. Elektrik maliyetleri Üye Ülkeler arasında % 100'e kadar değişiklik gösterebilir ancak fosil yakıt fiyatları daha az farklılık gösterme eğilimindedir. Yakıt fiyatları ve bunların farklılığı Kısım 4.4.3.1'de ele alınmıştır. Elektrikli fırınlar hava yakıt ateşlemeli fırınlardan genelde 2 ile 4 kat daha iyi olup termal açıdan çok verimlidir. Büyük enerji verimli fırınlara yönelik karşılaştırma bu aralığın alt ucunda, küçük fırınlar için ise üst ucundadır.

Elektrikli fırınlar, kısmen yıllık olarak değerlendirildiğinde yüksek işletim maliyetlerini telafi eden konvansiyonel fırınlardan daha fazla düşük sermaye maliyetlerine sahiptir. Ancak, konvansiyonel fırınlar için 10 ile 12 yıl olan oranlarla karşılaştırıldığında yeniden inşa veya onarım gerektirmeden önce örneğin 2 ile 6 yıl gibi daha kısa kampanya ömürlerine sahip olurlar. Küçük hava-yakıt konvansiyonel fırınlara yönelik olarak (yaklaşık 50 ton/gün'e kadar) ısı kayıpları daha büyük fırınlarla kıyaslandığında nispeten yüksektir. 10 ile 50 ton/gün aralığında hava-yakıt fırınlarının daha yüksek spesifik ısı kayıpları nedeniyle elektrikli fırın daha rekabetçi olabilir.

Mevcut uygulama temel alınarak, aşağıda potansiyel olarak uygulanabilir bir alternatif olabilenler gibi uygun olabilecek elektrikli fırınların boyutlarına yönelik çok genel bir kılavuz olarak planlanmıştır. Yerel koşullar nedeniyle istisnaların olması kaçınılmazdır.

- Günde 75 tonun altındaki fırınlar genellikle uygundur.
- 75 – 150 aralığında olan fırınlar bazı koşullarda uygun olabilir.
- Günde 150 tondan daha büyük fırınların genellikle uygun olmamaları muhtemeldir.

Mali değerlendirmeler de ayrıca sahaya özgü faktörlerden büyük oranda etkilenir. Bunlar arasında üstün enerji maliyetleri, maliyet kalite gereksinimleri; elverişli alan; alternatif azaltım tedbirlerinin maliyetleri; hakim mevzuat; işletim rahatlığı ve alternatif fırınların beklenen işletim ömürleridir.

Fosil yakıtlar ile elektrik arasında fiyat farkının verilen aralığın üst noktasında olan Üye Ülkelerde elektrikle eritme seçeneği daha az çekici görünebilir. Bu durumda bu işletmecinin elektrikle eritmeye tercihen diğer seçeneklerin kombinasyonunu seçmesine yol açabilir.

Uygulanabilirlik

Elektrikle eritme Cam Endüstrisinin birçok bölümünde uygulanabilir ve Seramik Fiber, Amyant, Özel Cam, Evsel Cam daha az oranda Konteynır Cam da dahil olmak üzere çeşitli sektörlerde geniş çapta kullanılır. Elektrikle eritme açıkça sadece fırın yeniden inşasında tesis edilebilir. Düz cam veya Frits Sektöründe bilinen tam kapsamlı elektrikle eritme örneği yoktur. Teknik, potansiyel olarak yüksek uçucu, kirletici camlar (örneğin kurşun kristal ve opal cam) ile yüksek katma değerli ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılır.

Teknik daha geniş çapta kullanımı işletim masrafları ile bazı teknik hususlarla kısıtlıdır. Yukarıda ele alındığı gibi ana kısıt işletim masraflarıdır ve bir dizi faktörlere bağlı olarak bu ekonomik uygunluk üzerinde üst bir sınır koyar. Tekniğin potansiyel olarak uygun olması herhangi bir özel uygulamaya yönelik olarak illaki MET'i temsil ettiği anlamına gelmez.

Yazılma sırasında teknik büyük hacimli cam üretimi (günlük > 300 ton) için kullanılmamaktadır ve bu nedenle teknik ve ekonomik açıdan tamamen kanıtlanmış sayılmaz.

Sürekli filament cam elyaf çok zayıf elektrik iletkenliğine neden olan düşük sodyum içerikli E-cam ile üretilir. % 100 elektrikle eritme kullanılarak E Cam üretimi halihazırda ekonomik ve teknik açıdan uygun sayılmaz.

Elektrikle ısıtılan bir fırın ile birlikte deneysel bir yüzdürme cam hattı halihazırda Birleşik Krallıkta işletilmektedir. Bu tesis yüzdürme cam imalatına yönelik soğuk elektrikli ısıtma ilkelerini göstermek üzere inşa edilmişti. Tesis bu pilot ölçekte başarılı bir şekilde işletilmiş ve konvansiyonel olarak ateşlenen fırınlardan emisyonların kontrol edilmesinin çok güç olacağı bir dizi egzotik cam üretiminde kullanılmıştı. Deney elektrikli fırın ile tam ölçekli yüzdürme cam hattının (günde >500 ton) işletilmesinin halihazırda ekonomik olarak uygun olmadığını ortaya koymuştur. Ana faktörler yüksek işletim maliyetleri, fırın tasarımının kısıtlamaları ile fırının kısa işletim ömrüdür.

İlişkili Hususlar

Fırından kaynaklı doğrudan emisyonlar bu teknik kullanılarak büyük ölçüde azaltılır ve termal verimlilik çok yüksektir. Ancak bu tekniğin toplam çevresel performansı göz önünde bulundurulduğunda güç üretiminin çevresel etkisi bazı faydaları dengeleyebilir. Bu belgenin kapsamında tam niceliksel bir analiz imkansızdır. Elektrik üretimi ile ilişkili çevresel konular çok karmaşıktır ve AB arasında ve bazen de tesisler arasında büyük ölçüde değişiklik gösterir.

Elektrik ulusal bir kaynak veya yerel yada tahsisli bir kaynaktan tedarik edilebilir ki bu ise tedarikin hem maliyet hem de verimliliğini etkileyebilir. Gücün ulusal bir kaynak şebekesinden alınması halinde, bu çok çeşitli kaynaklardan sağlanabilir. Kömür, petrol, gaz, nükleer, hidro ve diğer yenilenebilir kaynaklardan güç üretimi bunlarla ilişkili çok farklı çevresel hususlara sahiptir.

Elektrikle eritme ile fosil yakıt eritme arasındaki termal verimlilik farkı da elektrik üretimi verimliliği dikkate alındığında düşüktür. Yine, bu çok fazla elektrik kaynağına bağlıdır ancak geleneksel fosil yakıt ateşlemeli güç tesisine yönelik olarak birincil yakıttan elektrik kullanımı noktasına kadar verimlilik % 30 – 35 bölgesindedir. Kombine çevrim doğal gaz türbini tesisine yönelik olarak, rakam % 50'ye yakın olacaktır.

Teknik ile ilişkili düşük atık gaz hacimleri nedeniyle, herhangi bir ek üretim azaltım tekniğinin maliyeti büyük oranda azalmış ve düşük hacimde toplanan tozlar kolaylıkla geri dönüştürülebilir. Düşük uçucu kaybı da ayrıca ham madde tüketimini düşürür ki bu hem emisyon hem de maliyetleri azaltır. Bu durum kurşun oksitler, floridler, arsenik bileşikler, boraks vb. gibi daha pahalı ve/veya zehirli bileşenlerden bazıları için özellikle faydalı olabilir.

Genelde, elektrikle eritme işleminde çok homojen yüksek kaliteli cam üretilir. Bazı evsel ve özel cam uygulamalarına yönelik olarak, bu elektrikle eritmenin seçilmesine yönelik birincil nedenlerden biri olabilir.

Cam Endüstrisi içerisindeki geleneksel görüş dengeli, güvenilir ve verimli imalat sürecine yönelik gerekli oksitleyici koşulları sağlamak üzere soğuk tavan elektrik fırınlarında sodyum nitrat veya potasyum nitratın gerektiğidir. Nitratların kullanımı NOx emisyonlarını doğrudan etkiler ve tüm uygulamalar için de gerekli olmasa da elektrikle eritmenin bazı çevresel faydaları azaltabilir. Organik bileşik içeren atık materyallerin eriticiye geri dönüştürüldüğü durumlarda oksitleyici aracı maddeler olarak nitrat kullanılması çok daha önemli hale gelir. Yüksek harici kırıntı seviyelerinin kullanılması (veya geri dönüştürülmüş diğer materyaller) bazen koku sorunlarına da yol açabilir.

Faydalar

- Çok düşük doğrudan emisyonlar.
- Fırın alanının m²'si başına potansiyel olarak artırılmış eritme oranı.
- Geliştirilmiş doğrudan enerji verimliliği.
- Bazı durumlarda daha düşük ham madde maliyetleri
- Çoğu durumda elektrikle eritme daha iyi kalite ve daha fazla homojen cam üretir.
- Azalan sermaye maliyeti ve fırın alanı gereksinimleri.
- Potansiyel olarak daha basit işletim.

Zararlar

- Yüksek işletim maliyeti.
- Azalan kampanya uzunluğu.
- Çok büyük ölçekli cam üretimine yönelik halihazırda teknik ve ekonomik uygun olmayış.
- Yüksek kaliteli camlara yönelik daha az esneklik ve büyük çekiş varyasyonlarına uyumlu olmama.
- Elektrik üretiminin ilişkili çevresel çıkarımları.

Tablo 4.1: Elektrikle eritmenin temel fayda ve zararları**Örnek Tesisler**

Schott Glas, Mainz, Almanya – Özel Cam.
 Pilkington Glass Technology, St Helens, UK – Düz Cam (Deneysel/Uzman).
 Thermal Ceramics, Merseyside, UK – Seramik Fiber.
 British Gypsum Isover, Runcorn, UK – Cam Yünü.
 Saint-Gobain Desjonqueres, Mers-les-Bains, Fransa – Konteynir Cam.

4.3 Materyal Taşınmasına yönelik Teknikler

Cam Endüstrisinin çeşitliliği geniş çapta ham madde kullanımına yol açar. Bu materyallerin çoğunluğu ya doğal yollarla meydana gelen mineraller ya da insan yapımı ürünler olmak üzere katı inorganik bileşiklerdir. Bu materyaller işlenmemiş maddelerden iyice bölünmüş tozlara kadar değişiklik gösterir. Sıvılar ve daha az oranda gazlarda çoğu sektörde kullanılır. Materyal taşınmasında kullanılan genel teknikler Bölüm 2, Kısım 2.1'de açıklanmıştır. Cam Endüstrisine özgü materyallerden kaynaklı hava emisyonlarına ilişkin çok az konu mevcuttur. Bu nedenle bu konuda bu tip materyallerin taşınması sırasında genellikle iyi uygulama teşkil ettiği kabul edilen teknikler özetlenir.

Yığın halindeki toz materyaller genellikle silolarda depolanır ve emisyonlar bez filtre gibi uygun toz azaltım ekipmanı ile havalandırılan kapalı silolar kullanılarak asgariye indirilebilir. Mümkün mertebe, toplanan materyal silolara iade edilebilir veya fırında geri dönüştürülebilir. Kullanılan materyal miktarının silo kullanımını gerektirmediği hallerde ince malzemeler kapalı konteynirlarda veya ağzı kapalı torbalarda muhafaza edilebilir. İşlenmemiş tozlu materyaller rüzgardan kaynaklı emisyonları önlemek üzere mahfaza altında depolanabilir. Tozun hususi bir sorun olması halinde bazı tesisler yol temizleme vasıtaları ile su boşaltım teknikleri kullanılmasını gerektirebilir.

Materyallerin yukarıdaki yer aktarım sistemleri ile taşınması halinde rüzgar koruması sağlayacak bir tür mahfaza ciddi materyal kaybını korumak için gereklidir. Bu sistemler her taraftaki taşıma tertibatının muhafaza altına alınması için tasarlanabilir. Pnömatik taşıma tertibatının kullanılması halinde, tahliyenin önce aktarma havasını temizlemek üzere mahfazalı bir sistem temin etmek önemlidir. Aktarma ve ince partiküllerin fırın dışına “taşınması” sırasında tozu azaltmak için genellikle % 0 – 4 oranında su harman içerisinde tedarik edilebilir. Bazı süreçler (örneğin borosilikat cam üretimi) kuru harman materyalleri kullanır ve kuru materyallerin kullanıldığı durumlarda toz emisyonu potansiyeli daha yüksektir ve daha fazla itina gerekir.

Toz emisyonlarının yaygın olduğu bir alan da fırın besleme alanıdır. Bu alandaki emisyonları kontrol etmeye yönelik temel teknikler aşağıda listelenmiştir:

- Harman nemi.
- Fırın içindeki olumsuz basınç (sadece işletimin içsel yönü olarak uygulanabilir).
- Filtre sistemini havalandıran ekstraksiyon tedariki (cold top eriticilerde yaygındır).
- Kapalı vidalı besleyiciler.
- Besleme boşluklarının mahfazası (soğutma gerekli olabilir).

Toz emisyonları doğrudan atmosfere gerçekleşebilir veya süreç binaları içerisinde ortaya çıkabilir. Bunun gerçekleşmesi durumunda, toz bina içerisinde birikebilir ve binanın içine ve dışına hava hareketleri yoluyla kaçak emisyonlara yol açabilir. Potansiyel olarak, harman tesisleri gibi çok tozlu alanlar en az açıklık ve kapı ile tasarlanabilir ve toz perdeleri gerekli hallerde tedarik edilebilir. Fırın binalarında sıklıkla bir derece doğal soğutma temin etmek gerekir ve bu nedenle havalandırma vb. sağlanır. İyi bir bakım temizlik standardı sağlamak ve tüm toz kontrol tedbirlerinin (conta, ekstraksiyon vb.) düzgün işlenmesini temin etmek önemlidir.

Toz oluşumunun muhtemel olduğu hallerde (örneğin; torba açma, frit harman karıştırma, bez filtre tozu tahliyesi vb.) süreç alanları uygun azaltım tesisini havalandıran ekstraksiyon sistemi ile tedarik edilebilir. Bu, yüksek oranda manuel taşıma işleminin gerçekleştiği daha küçük tesislerde önemli olabilir. Bu teknikler özellikle, kurşun oksit ve florin bileşikler gibi daha zehirli ham maddelerin taşındığı ve depolandığı yerlerde geçerlidir.

Uçucu ham maddeler hava emisyonlarını en aza indirmek için depolanabilir. Genelde, yığın depolama sıcaklıkları mümkün mertebe düşük tutulmalı ve güneş ısı ve benzeri nedenlerden kaynaklı sıcaklık değişimleri dikkate alınmalıdır. Önemli buhar basıncına sahip materyaller veya kokulu maddelere yönelik olarak, sıvı aktarma işlemleri sırasında tank soluması veya buhar yer değişiminden ortaya çıkan salınımları azaltmak için spesifik teknikler gerekli olabilir.

Atmosfer basıncında depolama tanklarından kayıpları azaltmaya yönelik teknikler aşağıdakileri kapsar:

- düşük solar soğurmalı tank boyası,
- sıcaklık kontrolü,
- tank izolasyonu,
- envanter yönetimi,
- yüzdürme çatılı tanklar,
- buhar iade transfer sistemleri,
- keseli çatı tankları,
- tankların basınç dalgalanmalarına dayanmak üzere tasarlandığı basınç/vakum vanaları,
- emilim, soğurma, yoğuşma gibi spesifik tahliye arıtımı,
- yüzey altı doldurma.

4.4 Eritme Faaliyetlerinden Kaynaklı Hava Emisyonlarını Kontrol Etme Teknikleri

4.4.1 Partikülat Madde [tm18 CPIV, tm30 Dust]

Bu belgenin amaçlarına uygun olarak, partikülat madde ifadesi ölçüm noktasında katı olan tüm materyaller anlamına gelir ve eritme faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlara yönelik olarak toz terimi ile eş anlamlı kabul edilir. Her iki terim de bu bölümde birbirinin yerine kullanılır. Toplam partikülat madde terimi tüm organik ve inorganik katı maddeleri (alt ölçü sınırı olmaksızın), damlacıkları ve dumanlar anlamına gelecektir.

Ölçüm sırasındaki sıcaklık cam fırınlar için özellikle önemlidir; çünkü toz oluşturan materyallerden bazıları (özellikle boratlar) oldukça düşük sıcaklıklarda uçucu hale gelebilirler. Ayrıca bu süreçlerden kaynaklı tozun yapısı doğru ölçümü çok güçleştirebilir.

Cam fırınlardan kaynaklı toz emisyonlarının yapısı farklı süreçler için değişiklik gösterir, ancak temelde fırın tasarımı ve işletimi ile cam terkbine bağlıdır. Eritme işleminden kaynaklı tozun üç temel kaynağı:

- Harman malzemesi taşınımı.
- Harman materyali ve cam eriyiğinden maddelerin tepkimesi ve uçuşması.
- Yakıtlardaki metallerin katışıklığı.

Fosil yakıtlarla çalışan fırınlara yönelik olarak, sıcak cam yüzeyinden salınan uçucu materyallerin uçuculuğu ile müteakip tepkimesi toplam toz emisyonun şimdiye dek en büyük oranını temsil eder. Genelde, toz emisyonlarının % 80 ile 95'i bu şekilde üretilir. Bu nedenle atık gaz işleminden geçmeden veya ölçülmeden uçucu türlerin yoğunlaşmasını sağlamak önemlidir. Bu sodyum sülfat (erime noktası 888°C) için bir sorun teşkil etmez ancak borat ihtiva eden uçucu gazlar için değerlendirilmesi gereken bir husustur.

Harman malzemelerinin taşınması modern ve iyi işletilen bir fırından çıkan nihai emisyonların % 5'inden azına karşılık gelir. Bu toz harmanın bileşiklerinden ibarettir ve en hafif materyallerle tahakküm edilir.

Yakıtlardaki metal katışıklıkları (vanadyum ve nikel) toz emisyonlarına katkıda bulunur ancak bu seviye toplamın %5'inden oldukça düşüktür. Bu katışıklıklar temelde ayrıca toplama az miktarda kül ilave edebilecek fuel oil ile birlikte meydana gelir. Metal katışıklıklar ayrıca cam kırıntılarında ve diğer ham maddelerde de oluşur.

Maddi uçuculuk ve partikülat oluşumu düzenekleri tüm cam türleri için tam anlamıyla anlaşılmamıştır. AB'de imal edilen tüm camların yaklaşık % 90'ı soda-kireç camıdır ve bu bileşimler için çok sayıda bilgi mevcuttur. Soda-kireç camı fırınlarından kaynaklı toz ağırlıklı olarak sodyum sülfattan oluşur. Tozun % 98'ine kadar olan kısmı çözülebilir materyalden % 80-90'ı ise sodyum sülfattan ibarettir. Geri kalanı tam cam bileşimine bağlı olacak ancak temelde sülfat özellikle K₂SO₄ ihtiva edecektir. Çözülmeyen fraksiyon düşük düzeyde metallerle birlikte (örneğin Al, Fe ve Cr) temelde silis ihtiva eder. Şayet harici cam kırıntıları kullanılıyorsa toz diğer bileşikler de içerebilir (örneğin kurşun). Partikül çapı genelde 0.02 ile 1 µm aralığındadır ancak küçük partikülatlar rahatlıkla daha büyük partiküllerle bir araya gelip toplanabilirler. Bir dizi farklı volatilizasyon süreci ayırt edilebilir ve bunlar aşağıdaki Kısım 4.4.1.1'de ele alınmıştır.

Bileşiminde önemli düzeyde boron içeren camlara yönelik olarak (örneğin sürekli filament fiberklas, cam yünü ve borosilikat camı) boratlar yayılan tozun önemli bir bileşenidir. Tozdaki sodyum sülfatın boratlara oranı cam bileşimine bağlıdır. E cam ve cam yünü gibi düşük alkali formülasyonlarda borat bazlı bileşikler toplam toz emisyonlarının % 85'inden fazlasını temsil eder. Geri kalanı sülfat, silis ve önemsiz harman bileşenleri ve katışıklıklara bağlı bileşenlerden ibarettir.

Kurşun camında (T.V. ve kristal cam), kurşun volatilizasyonu kurşun oksit veya bazen kurşun sülfat yoğunlaşmalarını üretir.

Soğuk tavan elektrikli eriticilerde toz emisyonu çok daha azdır ve hemen hemen sadece harman materyal taşınımından ortaya çıkar. Yüksek sıcaklıkta yanmanın olmayışı reaktif volatilizasyon ile partikülat madde oluşumunu engeller. Taş yünü kupola fırınlarında toz emisyonları hammadde tozu, yanma ürünleri ve eritme sırasında salınan yoğunlaşmış uçucuların bir kombinasyonudur.

Cam süreçlerinden kaynaklı metallerin hava emisyonları geniş ölçüde partikül madde içerisinde hapsolür. Bu nedenle, metaller bu bölümde ayrı olarak işlenmemiş toz emisyonları bağlamında ele alınmış ve mümkün mertebe diğer kısımlara göndermeler yapılmıştır. Ancak bazı koşullarda örneğin bronz veya rengi alınmış camlardan selenyum veya bazı kurlun kristal yada özel cam süreçlerinden kurşun gibi önemli gazlı metal emisyonları bulunabilir.

Ana metal kaynakları ham maddelerdeki katışıklıklar, spesifik özellikleri (örneğin kurşun oksit, renklendirici/rek alıcılar gibi) bildirmek için kullanılan ham maddeler/katkı maddelerindeki metaller, cam kırıntıları ve yakıttır. Harici cam kırıntıları özellikle kurşun için önemli bir metal kontaminasyon kaynağıdır (bazı durumlarda < 400 ppm) ayrıca cıva gibi bazı diğer metaller için de cam kırıntılarının cıva buharı hafif tüpler içermesi haline kontaminasyon meydana gelebilir. Metal emisyon seviyelerine ilişkin bilgiler Bölüm 3 ile Tablo 3.3'dek sektöre özgü kısımlarda verilmiştir.

Tozun içerisinde veya gazlı bileşikler olarak metallerden kaynaklı emisyonları kontrol etmede üç yöntem bulunur.

1. Kontaminasyonu en aza indirecek ham madde seçimi ve mümkün mertebe alternatif katkı maddelerinin kullanımı. Ham madde seçimi cam kırıntısı kaynağını bulma ve sınıflandırmayı kapsar.
2. Özellikle bez filtre sistemleri ile elektrostatik çöktürücüler gibi toz azaltım teknikleri. Emisyonların önemli ölçüde metal konsantrasyonları ihtiva etmesi halinde yüksek verimliliğe sahip toz azaltım sistemleri genellikle 5 mg/Nm³'den daha düşük düzeye getirebilir.
3. Gazlı metal emisyonları (örneğin selenyum) toz azaltımı ile birlikte kuru veya yarı kuru gaz yıkama teknikleri kullanılarak ciddi ölçüde azaltılabilir, bakınız Kısım 4.4.3.3.

Bazı durumlarda ve özellikle Almanya'da kuru veya yarı kuru gaz yıkama ile birlikte toz azaltım sistemlerinin kurulumuna yönelik ana itici güç faktörü metal emisyonlarının azaltılması olmuştur.

4.4.1.1 Birincil Teknikler

[tm18 CPIV, tm30 Dust]

Cam fırını çok dinamik bir ortamdır ve işletim koşulları ile kimyaya yönelik herhangi bir değişiklik eritme süreci ve diğer emisyonlar üzerinde müteakip neticelere sebebiyet verebilir. Bu nedenle bu belgede açıklanan tüm birincil tekniklerin basitçe bireysel teknik olmalarından ziyade bir paket olarak düşünülmesi önemlidir. Ancak, açıklık için teknikler ayrı ayrı ele alınmış olmakla birlikte müteakip sonuçlar mümkün mertebe tartışılmıştır.

Materyal taşınımından kaynaklı düşük düzey emisyon ham maddelerde bir nem düzeyi temin etme ve harman kapsamı, partikül boyutu, gaz ivmesi ile brülör konumlandırma hususlarının kontrolü yoluyla sağlanabilir. Kuru harman materyalleri ve/veya çok ince harman materyalleri gerektiren süreçlere yönelik olarak rakamlar biraz daha yüksek olabilir. Ancak, toplam emisyonu katkı uçucu türlerin katkısına kıyasla çok düşük olacaktır. Materyal yüklemenden ortaya çıkan toza ilişkin konular yukarıdaki Kısım 4.3'de işlenmiştir.

Toz emisyonları temelde uçucu türlerden meydana geldiğinden burada ele alınan birincil azaltım teknikleri bu kaynak üzerinde yoğunlaşır. Soda-kireç fırınlarının toz analizinden sodyum türlerinin baca gazlarında toz oluşumuna yol açan ana bileşenler olduğu sonucuna varılabilir. Harman (örneğin NaCl) ve eriyikten (örneğin NaOH) kaynaklı uçucu türler atık gazda 1100°C'nin altında yoğunlaşan Na₂SO₄ oluşturmak üzere kükürt oksitlerle tepkimeye girebilir. Çoğu durumda sodyum sülfat durultma maddesi olarak kullanılır. Eriyik camda sodyum sülfat çözülmesi yanma odası ve baca gazlarındaki sodyum bileşeni konsantrasyonlarından çok daha yüksek olan kükürt oksit konsantrasyonlarına yol açar. Yakıt yanma veya harman sülfatından kaynaklı kükürt oksitler toz oluşumu için hakim parametre olan uçuculaşmış sodyuma kıyasla stoikiyometrik oranda mevcuttur. Ana sodyum kaynakları cam kırıntısı veya soda külüdür ve sodyum sülfattaki sodyum önemli bir faktör değildir.

Çok zayıf kükürt gazlarında, sodyum klorid, sodyum florid veya sodyum karbonat partikülleri baca gazlarının 900°C altında soğutulması sırasında oluşabilir. Bu pek yaygın olmamakla birlikte sadece doğal gaz kullanıldığında ve sodyum sülfat antimon gibi başka bir durultma maddesi ile değiştirildiğinde meydana gelebilir. Konteynır veya düz camda durum hiçbir zaman böyle değildir ancak özel uygulamalarda gerçekleşebilir.

Bir dizi farklı volatilizasyon süreçleri soda-kireç camında ayırt edilebilir:

- (a) Eriyik cam yüzeyinden reaktif volatilizasyon. Silikat eriyiğindeki sodyum oksit su buharlı yüzeyde tepkime yapar: $\text{Na}_2\text{O} (\text{eriyik}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH} (\text{g})$. Bu tip bir volatilizasyon soda-kireç camı fırınlarındaki toz emisyonlarının ana kaynağı olabilir.
- (b) Sentetik sodada bir katışıklık olarak mevcut olan NaCl volatilizasyonu. Bu volatilizasyon sadece sodyum sülfat tozuna değil aynı zamanda HCl oluşumuna da yol açar.
- (c) Eriyik cam yüzeyinden sodyum sülfat volatilizasyonu.
- (d) Fırın atmosferinde harman yüzeyindeki kimyasal tepkimeler yoluyla reaktif volatilizasyon. Yanma odasındaki su buharının sodyum hidroksit buharı oluşturacak soda külü tepkimesi için önemli olduğu düşünülür. Potasyum bileşikleri için benzer tepkimeler: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{g}) + \text{CO}_2$.
- (e) Harman örtüsünün yüzeyinden ham madde bileşiklerinin volatilizasyonu (örneğin kum, feldspars, kireç, soda külü, dolomit ve sodyum sülfat) genellikle çok düşüktür. Buhar basınçları 1200°C'nin altında çok düşüktür ve 1000°C'nin üzerinde tek bileşikler zaten silikat oluşturmak üzere tepkimeye girmişlerdir.
- (f) Durultma süreci sırasında gaz baloncuklarındaki sodyum bileşikleri volatilizasyonu ayrıca nispeten daha az önemlidir.
- (g) Harici kırıntıların geri dönüşümü durumunda (konteynır fırınlar), kurşun bileşiği emisyonları (PbO , PbCO_3 , PbSO_4) kırıntılardaki kurşun cam, ayne fragmanları ve metalik kurşun kirleticileri nedeniyle gerçekleşebilir.

Diğer cam türleri için durum farklıdır. Düşük alkali boron içeren camlar için (örneğin E Cam ve cam yünü) reaktif volatilizasyonun ana partikül kaynağı olduğu düşünülür. Yayılan toz temelde sodyum ve potasyumlu metaborik asit tepkime ürünlerinden ibarettir. Metaborik asit borik asidin su buharı ile tepkimesinden oluşur - $\text{B}_2\text{O}_3 (\text{l}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HBO}_2(\text{g})$. Volatilizasyon yoluyla toz oluşumu boron ihtiva eden camlar için çok kolay meydana gelir ve azaltılmamış emisyon konsantrasyonları genellikle soda-kireç camlarından daha yüksektir. Bazı durumlarda on kat daha fazladır.

Soda-kireç camları için açıklanan volatilizasyon mekanizmaları tipleri diğer çoğu camlarda genel volatilizasyon temelidir ancak kimyaya bağlı varyasyon olduğu da açıktır.

Volatilizasyonu etkileyen en önemli faktörler sıcaklık, fırın atmosferindeki su buharı içeriği ve eriyiğin yüzeyindeki gazların ivmeleridir. Reaktif türlerin elverişliliği özellikle soda-kireç camlarındaki sodyum ve sülfatlar ile boron camlarındaki boron gibi önemli bir faktördür de. Ancak bu faktör çoğunlukla camın kimyası ile kısıtlıdır.

Toz emisyonlarını azaltmak için alınabilecek en önemli birincil tedbirler aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir:

Ham madde modifikasyonları

Sodyum klorid toz ve klorid emisyonlarında önemli bir faktör olabilir. Çoğu özel camlarda durultma maddesi olarak kullanılır ancak Solvay süreci ile yapılan soda külündeki düşük düzeyde katışıklık olarak mevcut olması daha geneldir. Cam Endüstrisinden gelen baskılar soda külü üreticilerinin son yıllarda NaCl seviyelerini ciddi ölçüde azaltmalarına neden olmuştur (şu an genellikle 1 kg/ton civarındadır). Kısa vadede daha önemli bir azaltma daha ileri işlem gerektirecek ve bu nedenle de fiyatta bir artışa neden olacaktır. Doğal soda külü fiilen NaCl'dan muaf olarak mevcuttur ancak bu malzeme menşei ülkelerden nakliye maliyetleri ve vergiler nedeniyle genellikle AB'de daha pahalıdır.

Çoğu modern fırınlarda harman sülfat seviyeleri iyi durultma ve camın doğru oksidasyon durumuna getirilmesi ile asgari yeterliliğe indirgenmiştir. Sodyum sülfat alternatifleri örneğin arsenik ve antimon bazı durultma maddeleri gibi daha büyük çevresel sorunlar teşkil edebilirler. Bu alandaki daha ileri gelişmelerin ciddi emisyon azaltımları doğurmaları beklenmez. Sınırlayıcı faktörün sodyum içeren buhar konsantrasyonları olduğu düşünülür ancak gazla çalışan fırınlar için çok indirgenmiş sülfat konsantrasyonları gaz fazındaki reaksiyonu kısıtlar.

Boron içeren camlar için, boron ürün ve ürün özelliklerinin oluşumu için önemlidir. Son yıllarda boron seviyelerinde ciddi redaksiyon yapılmıştır ancak üretkenlik, enerji tüketim ve kaliteyi etkilemeksizin bu alanda daha fazla gelişme yapmak gittikçe güçleşmektedir. Boron içeren materyaller nispeten pahalıdır ve tüketimi azaltmak için tüm çabalar sarf edilmektedir. Yazılma zamanında hiç güvenilir boron alternatifi mevcut değildir ve güçlükler birçok işletmeni özellikle cam yünü ve borosilikat fırınlarına yönelik olarak ikincil azaltım tekniklerinin tesisine yöneltmiştir. Genelde, azaltılan tozlar geri dönüşüm için fırına yeniden gönderilir.

Sürekli Filament Fiberglas Sektöründeki bir dizi şirket ham maddelerdeki iz seviyeleri nedeniyle düşük seviyede boron ve florin ihtiva eden veya sadece bu elementleri içeren cam terkipleri geliştirmiştir. 50 mg/m³'ün altında emisyonlar bildirilmiştir ki bu toz bileşiminde boronun önemini ortaya koyar. Bu tip bir cam daha yüksek erime sıcaklıkları gerektirir, fiberleştirilmesi daha güçtür ve refrakter ömrü üzerindeki uzun vadeli etkileri henüz saptanmamıştır. Tekniğin ayrıntıları müsecceldir ve bu nedenle oldukça ümit verici görünmekle birlikte teknik henüz genel olarak elverişli kabul edilememektedir. Yine de bu formülasyonlardan birkaçı halihazırda pazarlanabilir.

Eriyik yüzeyindeki sıcaklığın düşürülmesi

Daha fazla uçucu tür yüksek sıcaklıklarda üretildiğinden tepe sıcaklığı partikül oluşumunda önemli bir faktördür. Tepe sıcaklığı ile partikül oluşumu arasındaki karşılıklı ilişki soda-kireç fırınlarında gösterilmiştir. Fırın sıcaklığının düşürülmesi cam kalitesi ve fırının üretkenliği ile dengelenmelidir. Her bir ton cam başına toz azaltımında en büyük etkiye sahip tedbirler enerji verimliliğini ve özellikle de cama ısı aktarımını geliştiren ve dolayısıyla daha düşük tepe sıcaklığına olanak sağlayan tedbirlerdir. Temel hususlar:

- Konvektif akım ve ısı aktarımını iyileştirecek fırın tasarım ve geometrisi. Bu modifikasyonlar sadece fırın yeniden inşasında uygulanabilir. Daha büyük fırınlar genellikle bir ton cam için daha düşük emisyonlara yol açarak daha fazla enerji verimliliğine sahiptir
- Elektrik desteği enerjiyi doğrudan eriyiğe koyarak ve konvektif akımları geliştirerek tepe sıcaklığının azaltılmasına yardımcı olur. Bu elektrotların konumlandırılması önemlidir ancak fırın yeniden inşası dışında değişim yapmak güçtür. Elektrik desteği genellikle elektrik maliyeti ile kısıtlıdır.
- Artan kırıntı kullanımı daha düşük sıcaklıklarda işleme ve daha az yakıt kullanımına imkan vererek eritme enerjisi gereksinimini azaltacaktır. Ayrıca, kırıntı daha önceden eritildiğinden, kullanımı örneğin sodyum klorid ve harman sülfatları gibi toz oluşumuna katkıda bulunan bazı uçucu ve reaktif türlerin seviyelerinin düşürülmesine yardımcı olur. Petrolle çalışan fırınlarda kırıntı kullanımı ayrıca yakıt gereksinimini ve böylelikle SO₂ seviyelerini de düşürür. Kırıntı kullanımı doğru kalite ve bileşimde kırıntı elverişliliği ile sınırlıdır. Örneğin; konteynır cam fırınları % 5 – 95 (harici ve dahili), soda-kireç evsel cam ve düz cam fırınları genelde % 10 – 40 (genellikle sadece dahili) kırıntı kullanırken sürekli filament fiberglas fırınları nadiren kırıntı kullanır.

Brülör konumlandırma

Eriyikten kaynaklı volatilizasyon oranındaki diğer bir önemli faktör de eriyiğin üzerindeki gazların ikame oranıdır. Eriyik yüzeyindeki yüksek gaz ivmesi veya yüksek türbülans seviyesi volatilizasyon oranını artırır. Yanma havası ivmesi ve yönü ile yakıt ivme ve yönünü en uygun düzeye getirmek üzere brülör konumlandırmasında ilerleme kaydedilmiştir. Bu değişiklikleri fırın eni ve örtünün yanmamış kısmının boyuna yönelik modifikasyonlar ile birleştirmeyi kapsayan başka çalışmalar da yürütülmektedir. Fırın tasarımına yönelik modifikasyonları kapsayan değişiklikler sadece fırın yeniden inşa aşamasında uygulanır ve diğer değişiklikler de fırın yeniden tasarımı sırasında hayata geçirilmeleri halinde bazen çok daha etkilidir.

Gaz ateşlemesine (veya çok düşük kükürtlü petrole) dönüşüm

Fuel oil ateşlemesinden doğal gaz ateşlemesine dönüşüm toz emisyonlarında ciddi azalmalara imkan verebilir. Bunun nedeni muhtemelen gaz ateşleme ile ortaya çıkan partikülatlara yönelik özel yoğunlaşma tepkimeleridir, ancak bazı durumlarda indirgenmiş SO_x seviyeleri de bir faktör olabilir. Örneğin; düz cam sektörü petrolden gaz ateşlemeye dönüşüme yönelik olarak % 25’den fazla toz emisyon azalmaları bildirmiştir. Düz cam sektörü ayrıca petrolün kükürt içeriğinin düşürülmesine yönelik önemli etkiler de bildirmiştir (petrol kükürt içeriğinde % 1 azalma başına tozda 20 mg/Nm³ azalma). Düşük kükürtlü petrole benzer bir etki evsel cam sektöründe de gözlenmiştir (<1 %). Doğal gaz ateşlemesine dönüşüm Kısım 4.4.3.1’de daha ayrıntılı ele alınmaktadır. Ana hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- Bazılarının doğal gaz erişimine sahip olmamasına rağmen tesislerin çoğunluğu zaten iki yakıttan birini kullanmak üzere donatılmıştır.
- Tekniğin maliyetleri büyük ölçüde hakim yakıt fiyatlarına bağlıdır.
- Endüstri içerisinde eriyiğe ısı aktarımının düşük alev parlaklığı nedeniyle petrole ateşlemedekinden daha zayıf olacağına ilişkin endişeler mevcuttur.
- Doğal gaz ateşleme petrole kıyaslandığında daha yüksek NO_x emisyonları ile sonuçlanabilir.
- Bir fırında her iki yakıt tipini eş zamanda kullanan bazı karma yakma durumları iki eritme sürecine dair ilgi çekici uyumlar sunabilir (düşük NO_x, SO_x ve toz emisyonları).

Diğer düşünceler

Soğuk tavan elektrikli eriticilerden kaynaklı emisyonlar yükleme sırasında hava akımı ve türbülansın azaltılmasıyla ve ham madde tane büyüklüğü ve nem optimizasyonu ile asgariye indirilebilir.

Birincil tedbirler taş yünü kupola fırınlarından kaynaklı emisyonlara yönelik olarak nadiren hayata geçirilir. Gerçekleştirilebilecek ana müdahale tozu sökmek için ham maddeleri yıkamak olacaktır. Çoğu kupola fırınları bez filtre ile donatılmıştır ve bu nedenle ikincil tedbirlere yönelik gereksinimi değiştirmeleri olası olmadığından birincil tedbirleri alma teşvikleri çok azdır.

Birincil tekniklerin çevresel performansı

Sonuçları etkileyebilecek faktörlerin geniş çapta olması ve fırın tipi ile cam terkiplerinin geniş çeşitlilik arz etmesi nedenlerinden ötürü birincil teknikleri kullanarak erişilebilir emisyon seviyelerini rakamlarla belirtmek güçtür.

Alev ateşlemeli fırınlar için, sadece birincil azaltım teknikleri kullanılarak en düşük emisyon seviyeleri soda-kireç camı üreten fırınlar ile sağlanır. Ortalama kütle emisyonları 0.4 kg/ton erimiş cam civarındadır, ve emisyon konsantrasyonlarının çoğunluğu 100 – 300 mg/m³ aralığına denk gelmektedir. Toz için 100 mg/m³'den daha az orana ulaşan bazı fırınlar mevcuttur ancak bunlar yaygın değildir.

Birincil tekniklerin en uygun düzeye getirilmesi ile (fırın işletimine yönelik beklenen ilerlemeler ve güncel bilgiler temel alınarak), soda-kireç cam endüstrisi 70 ile 100 mg/mg³ arasında bir değerin yakın gelecekte gerçekçi olarak erişilebilecek toz emisyonu değeri olabileceğini ifade etmiştir [tm30 Dust]. Yazılma zamanında birkaç tesis ikincil azaltım olmaksızın 100 mg/Nm³'ün altında toz emisyon seviyelerine sahiptir ve 100 - 200 mg/Nm³ (≤ 0.4 kg/ton cam) birincil tekniklerle halihazırda erişilebilir kabul edilmektedir. Bu rakamların soda-kireç camından başka terkipler için de erişilebilir olması olası değildir. Genelde diğer terkipler için birincil tekniklerin optimizasyonun emisyonları % 10 – 30 oranında düşürmesi beklenebilir.

Mali düşünceler

Birincil tekniklerin maliyetine ilişkin çok az veri mevcuttur ancak endüstri bugüne dek tesis edilen tedbirlerin maliyetinin düşük olarak kabul edildiğini bildirmiştir. Aslında enerji kullanımını azaltan teknikler maliyet tasarrufu sağlayabilir. Gaz ateşlemeye ilişkin maliyetler Kısım 4.4.3.1'de ele alınmaktadır.

Birincil tedbirler uygulamanın düzey ve zaman ölçeğine bağlı olarak değişen maliyetleri kapsayabilir. Tedbirler genel bir paket olup maliyet ve neticeleri belirleyen bu paketin optimizasyonudur. Örneğin; düşük klorid veya doğal soda külünün kullanımının toz emisyonlarını ikincil azaltım ile kıyaslanabilir seviyelerde azaltması ihtimal dahilinde değildir, ve diğer faktörlere bağlı olarak maliyetler faydalar ile oransız olabilir. Ancak, bu maliyet ve neticelerinin bir bütün olarak düşünülmesi gereken tedbirler paketinin bir yönüdür.

Uygulanabilirlik

Açıklanan ilkelerin tanımlanan kısıtlar dahilinde endüstrinin tüm kısımlarına genel olarak uygulanabilir olduğu kabul edilir. Ancak bir süreçte başarıyla hayata geçirilen tekniklerin diğer tesisler aynı etkiler gösteremeyebilir. Kısa ve orta vadede toz azaltımına yönelik birincil tedbirlerin diğer cam türlerine göre soda-kireç bileşimlerinde daha önemli azalmalar sağlaması ihtimal dahilinde değildir.

İlişkili hususlar

Faydalar

- Düşük maliyet.
- Azaltmadan ziyade önleme üzerinde yoğunlaşma.
- İkincil tekniklerle ilişkilendirilebilecek potansiyel katı atıklar veya enerji kullanımını kapsamaz.

Zararlar:

- Birincil tedbirler elektrostatik çöktürücü gibi ikincil tekniklerle ilişkili emisyon seviyelerini karşılayamaz. Bunun yakın gelecekteki değişmesi ihtimal dahilinde değildir.
- Birincil tedbirler sürece ilişkin ilave işletim kısıtlarını işe koşarlar.

Tablo 4.2: Toz azaltımına yönelik birincil tekniklerin ana fayda ve zararları

4.4.1.2 Elektrostatik Çöktürücüler

Tekniğin açıklaması

Elektrostatik çöktürücü (EP) çok çeşitli sıcaklık, basınç ve partikül yükü koşullarında çalışma kapasitesine sahiptir. Özellikle partikül büyüklüğüne duyarlı değildir ve hem ıslak hem de kuru koşullarda partikül toplayabilir. EP bir dizi yüksek gerilim tahliye elektrotu ile karşılık gelen kolektör elektrotlarından meydana gelir. Partiküller elektrotlar arasında oluşturulan elektrik alanı etkisi altına yüklenir ve daha sonra gaz akışından ayrılır. Yüksek gerilimde (80 kV'ye kadar) küçük doğru akım ile elektrot çevresine elektrik alanı uygulanır. Uygulamada EP bir dizi münferit alana bölünür (5 alana kadar kullanılabilir).

Partiküller gaz akışından dört aşamada atılır:

- Toza elektrik yükü uygulanması yoluyla;
- Elektrik alanına partikül aktarılması yoluyla;
- Partiküllerin toplama elektrotu üzerinde tutulmasıyla ve
- Partiküllerin elektrot yüzeyinden atılmasıyla.

Toplama elektrotları materyal birikimini önlemek üzere darbeli veya titreşimli olmalıdır ve bunların mekanik kuvveti darbe ile titreşim iletimine uyumlu olmalıdır. Tahliye elektrotlarının mekanik güvenilirliği ile bunların destekleyici iskeleti kopmuş tek bir kablunun çöktürücünün tüm elektrik alanını kısa devreye uğratabilmesi kadar önemlidir. Islak çöktürücülerde, toplanan materyal sürekli veya aralıklı sprey sulama ile uygun bir sıvıyla, genelde suyla yıkanarak kolektör plakalarından atılır.

EP'nin performansı toz toplama verimliliğini kolektör elektrotların toplam yüzey alanı, gazların hacimsel akış hızı ve partiküllerin taşınma ivmesi ile ilişkilendiren Alman Formülünü izler. Belirli bir materyal için kolektör elektrotların toplam yüzey alanı ve elektrik alanlarındaki ikame süresinin azamiye çıkarılması en önemli parametrelerin ikisidir. Bununla birlikte toplayıcı elektrotlar arasındaki mesafe ne kadar büyük olursa uygulanabilen gerilim o kadar yüksek olur. Bu mesafe Bu mesafe tedarikçi tasarımına bağlıdır.

İyi redresör tasarımı EP'nin bir alanının her bir alan veya kısmına yönelik olarak ayrı redresör bölümleri kullanımını kapsar. Bu ise uygulamalı gerilimin akış deliğine doğru indirgenmiş partikül yükünü üstlenmek üzere giriş ve çıkış alanlarında çeşitlenmesine olanak sağlar ve alanların kademeli olarak yükselen gerilimlerde işletilmesine imkan verir. İyi tasarım ayrıca optimum yüksek gerilim (HT) voltajının elektrotlara uygulanmasını temin eden otomatik kontrol sistemlerinin kullanılmasından da etkilenir. Sabit HT güç kaynaklarının optimal toplama verimliliği sağlaması ihtimal dahilinde değildir.

Partikül materyalin direnci (iletkenliğin tersi) özellikle önemlidir. Şayet direnç çok düşükse kolektör elektrotuna ulaşan partiküller kolaylıkla yüklerini kaybeder ve partikül yeniden yüklenmesi meydana gelebilir. Partikül çok yüksek dirence sahip olduğunda elektrot üzerinde normal korona boşaltımını engelleyen ve indirgenmiş toplama verimliliğine yol açan bir izolasyon katmanı oluşur. Cam Endüstrisinde karşılaşılan çoğu partikül doğru aralıkta bir dirence sahiptir. Ancak partikülün koşullandırılması ile gerekli toplama iyileştirilirse, amonyak ve kükürt trioksit kullanılabilir ama cam süreçlerinde bu genellikle gerekli değildir. Gaza nem ilave edilerek veya gaz sıcaklığını düşürerek de direnç azaltılabilir.

Bir çöktürücüden en iyi performansı almak için, ünite vasıtasıyla gaz akışının tek tip olması ve elektrik alanından hiç gazın geçmemesini sağlamak gerekir. Giriş kanalının doğru tasarımı ve giriş ağzında akış tevzi araçlarının kullanılması girişte çöktürücüye tek tip akış sağlamalıdır. Genelde, işletim sıcaklığı 430°C'nin altında tutulmalıdır. EP'nin performansı uzatılmış işletim sırasında düşecektir. Elektrotlar parçalanabilir, hizaları bozulabilir veya pulla kaplanabilir ve özellikle daha eski ekipmanda düzenli bakım onarım gereklidir.

Gaz akışının önemli asit gazı (özellikle SO_x, HCl ve HF) konsantrasyonları içerebileceği uygulamalarda, genellikle EP'den önce bir takım asit gazı yıkama işleminin gerekli olduğu düşünülür. Bu genellikle kalsiyum hidroksit, sodyum karbonat veya sodyum bikarbonat kullanılarak kuru veya yarı kuru gaz yıkama işlemlerinden ibarettir. Bu teknikler Kısım 4.4.3'de ele alınmıştır. Asit gazları ham maddelerden veya fuel oil yakımından ortaya çıkar ve asit gaz ihracı olmaksızın EP ciddi korozyon sorunlarından muzdarip olabilir. Bazı boron içeren camlar ile birlikte alkali de uçucu boron bileşiklerinin çöktürülmesine yardımcı olur. Atık gazlar yüksek seviyede asit gazı ihtiva etmiyorsa (örneğin gaz ateşleme ve düşük kükürtlü ham maddeler) örneğin çoğu cam yünü süreçlerinde ön arıtım gerekmez.

Çevresel performans

EP'ler 0.1 µm ile 10µm aralığında toz toplamada çok etkilidir ve toplam toplama verimliliği % 95 - 99 olabilir (giriş konsantrasyonu ve EP boyutuna bağlı olarak). Fiili performans temelde atık gaz özelliklerine ve EP tasarımına bağlı olarak değişiklik gösterir ancak 5 ile 50 mg/m³ aralığındaki emisyon konsantrasyonları sağlanabilir. Önemli bir faktör olmasına rağmen, performans sadece uygulanan elektrik alanları sayısına bağlı değildir. Bir tasarımlı iki aşamalı bir EP farklı bir tasarımlı veya farklı bir uygulamada üç aşamalı EP kadar verimli olabilir ve seçim gerekli performans seviyesine bağlı olacaktır.

Çoğu uygulamada modern iyi tasarımlı iki veya üç aşamalı bir EP'nin eriyik cam tonu başına 20 mg/m³ ve 0.1 kg'den az toz oranına erişmesi beklenebilir. Cam Endüstrisinde hemen hemen tüm EP örnekleri iki aşamalıdır ve modern tasarımlar verilen rakamlara erişebilir. Çoğu uygulamada EP'ler olumlu koşullar nedeniyle veya yüksek verimli tasarımların kullanılmasından ötürü bu seviyelerin altında emisyonlara erişebilir. EP'lere yönelik emisyon seviyeleri bazen 10 mg/Nm³'den az olabilir. Ancak, olumlu koşulların mevcut olduğu durumlar hariç olmak üzere performansı bu seviyede temin etmek genelde bu kısımda tanımlanandan yüksek olan maliyetleri kapsayacaktır.

Çeşitli fırınları olan tesislerde EP yaygın olabilir.

Mali düşünceler

EP'yi etkileyen önemli faktörler:

- atık gaz hacmi;
- gerekli verimlilik;
- alan sayısı;
- atık gaz arındırma;
- gaz yıkamanın gerekip gerekmediği; ve
- toz tahliye maliyetleri (geri dönüşüm mümkün değil ise).

İkinin üzerinde her bir ilave elektrik alanı sermaye maliyetlerini % 15 – 20 oranında artıracaktır.

Aşağıdaki tablo asit gaz yıkama da dahil olmak üzere çeşitli fırın ebatı ve hava akışlarına yönelik EP'lerin ipucu niteliğindeki sermaye ve işletim maliyetlerini gösterir. Verilen rakamlar, sahaya özgü faktörlere bağlı olarak sermaye maliyetlerine yönelik artı veya eksi % 15, işletim masraflarına yönelik olarak ise eksi veya artı % 30 oranında değişiklik gösterir. İşletim maliyetleri asit gaz yıkama maliyetini kapsar ancak faiz veya amortismanı içine almaz. Asit gaz yıkama işlemi gerektirmeyen tesisler için sermaye maliyetleri yaklaşık % 30, işletim maliyetleri ise % 30 – 40 oranında düşük olacaktır. Mevcut tesislere yönelik olarak, mevcut konfigürasyona yönelik modifikasyon gerektiğinde ileriki maliyetler (genellikle % 5- 20) tahakkuk edebilir.

Ebat ton/gün	Gaz hacmi Nm ³ /saat	Sermaye maliyeti (x1000) Euro	İşletim maliyeti (x1000) Yıllık Euro
50 t/d Konteynır	6400	565	37
100 t/d Konteynır	11120	875	53
300 t/d Konteynır	23000	1420	89
450 t/d Konteynır	33350	1820	116
600 t/d Yüzer	70000	2750	186
100 t/d Cam Filament	-	-	64

Tablo 4.3: Asit gaz yıkamalı elektrostatik çöktürücülerin maliyetleri [tm32 Beerkens]

Altyapı maliyeti EP boyutu ve her bir tesis için yerel koşullara bağlı olarak değişiklik gösterir. Yukarıda bahsedildiği üzere EP'ler oldukça büyüktür ve mevcut tesislerde alanın kısıtlı olduğu hallerde esaslı inşaat işleri gerekebilir.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak, bu teknik tüm sektördeki bütün yeni ve mevcut tesislere uygulanabilir. Özellikle alan kısıtlamaları olan durumlarda maliyetler mevcut tesisler için maliyetlerin yüksek olması olasıdır. Ancak elektrikli fırınlar ile daha küçük konvansiyonel fırınlar için (günde 200 tondan daha az) yüksek sermaye maliyetleri işletmenleri özellikle bez filtreler gibi alternatif teknikler seçmeye sevk edebilir. EPler karbon monoksitle ilişkili patlama riski nedeniyle taş yünü kupolalarda kullanılmaz.

Cam Endüstrisinde başarıyla kullanılan EP'lere ilişkin birçok örnek mevcuttur; örneğin Almanya'da yaklaşık 80 fırın EP ve asit gaz yıkama ile donatılmıştır. Üye Ülke yönetmeliklerinin büyük çaplı cam tesislerinin ikincil azaltma gerektiren toz emisyon sınırlarını karşılamalarını gerektirmesi durumunda, EP endüstrinin onayladığı teknik olagelmıştır.

İlgili düşünceler

Bu tekniğin kullanımı enerji tüketiminde bir artışı kapsar ancak bu artış fırının enerji tüketimine nispeten düşüktür, % 1'den daha az (enerji maliyetinin % 1 ile 3'ü). Enerji üretimi noktasında sonuç olarak meydana gelen çevresel etki olacaktır ki bu etki elektrik kaynağına bağlı olacaktır.

Cam Endüstrisindeki çoğu uygulamada arıtma işlemi öncesinde asit gazlarının ihraç edilmesi gerekli olacaktır. Bu ise genellikle azaltılan tozdan on kat fazlasına kadar katı materyal buharı oluşturan kuru veya yarı kuru gaz yıkama işlemi ile sağlanır. Şayet bu fırına geri dönüştürülürse ham madde tüketiminde top yekun bir azalma olacak şayet bu olmazsa atılacak atık buharı meydana gelecektir.

Uygulamada toplanan toz çoğu durumda eri dönüştürülür ve sorbente bağlı olarak seçilen materyal özellikle sodyum sülfat gibi diğer ham maddelerin bir kısmı ile yer değiştirebilir (ve mümkün mertebe florid ve kurşun içeren materyal). Sorunlar özellikle yüksek kırıntı seviyeleri ile azaltılmış cama yönelik sülfat gereksinimlerinin çok düşük olduğu Konteynır Cam Sektöründe meydana gelebilir. Bu ise özellikle yüksek kükürtlü yakıtın kullanılması durumunda tozun geri dönüşümü potansiyelini kısıtlayabilir ve toplanan tozun bir kısmının saha dışında tahliye edilmesi gerekecektir. Bazı sektörlerde toplanan tozun geri dönüşüm yetisi, örneğin çok yüksek optik kalitenin gerekli olduğu hallerde, ürün kalite kısıtları ve cam kimyası ile sınırlı olabilir.

Yazılma zamanında geri dönüştürülemeyen tozların tahliye maliyetleri çoğunlukla düşük kükürtlü yakıtların maliyetinden daha yüksek olabilir (örneğin; düşük kükürtlü petrol veya doğal gaz). Bu nedenle çoğu koşulda (özellikle konteynır cam) işletmen tahliye için katı atık buharı yaratmaktan ziyade yakıtları değiştirebilecektir. Ancak, düşük kükürtlü yakıt (özellikle doğal gaz) ile diğer yakıtlar arasındaki yüksek maliyet farkı bu tür bir seçeneği ekonomik olarak çekimsiz kılabilir.

Asit gaz yıkama evresinin ana amaçlarından biri de çoğunlukla EP'ye yönelik gazı tavlama; ayrıca daha düşük toplam asit gaz emisyonları ile sonuçlanabilir. Şayet gaz geri dönüştürülürse, asit gazların bazıları yeniden yayılacaktır. Ancak, genellikle camdaki toplam yükseltmede bir denge olduğunda emisyonlar daha az olacaktır.

Cam Endüstrisinde yayılan partikülat maddenin çoğunluğu reaktif volatilizasyon yoluyla oluşur. Bu nedenle gaz akışını partikülat oluşum sıcaklığının altında tutmak önemlidir. Rejeneratif fırınlarda atık gaz sıcaklığı genellikle 400°C civarındadır ve uçucuları yoğunlaştırmak ve EP işletim sınırlarına erişmek için soğutmaya genellikle ihtiyaç duyulmaz. Rekuperatif fırınlarda atık gaz sıcaklığı genellikle 800°C civarındadır ve hem partikülatları yoğunlaştırmak hem de gazı EP sınırlarına gelecek şekilde soğutmak için soğutma işlemine ihtiyaç duyulur. Borat ihtiva eden camlara yönelik olarak (örneğin cam yünü) azaltım işleminden önce gaz sıcaklığını 200°C'nin altına düşürmek için gereklidir. Oksijen yakıt fırınlarından atık gaz sıcaklığı genellikle >1000°C ve ciddi soğutma gereklidir.

Faydalar:

- Yüksek toz ihraç verimliliği.
- Genellikle yeniden kullanıma olanak veren bir formda toplanan toz.
- Bez filtrelelere nispeten düşük basınç düşüşü ve aynı nispete düşük işletim maliyetleri.
- Gaz yıkayıcı ve SCR'li sistemler gibi entegre arıtım sistemlerinin bir parçasını oluşturabilir.
- EP'ler yüksek yük veya nem içeriği nedeniyle kolaylıkla bloke edilmezler ve bez filtrelerle sorun teşkil edebilir.
- Genelde (yani Cam Endüstrisi ile sınırlı değil), bez filtrede olduğundan daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla işletim deneyimi vardır.
- Daha sonraki bir tarihte daha fazla alanın eklenmesine olanak sağlayacak bir şekilde tasarlanabilir.

Zararlar:

- Enerji kullanımı. Fırın enerjisine nispeten daha düşük olmasına rağmen (% <1), elektrik olduğundan dolayı maliyetler daha önemlidir.
- Her zaman geri dönüştürülmesi mümkün olmayan üretilen katı atık akışı.
- Çoğu süreç asit gaz yıkama gerektirir ve bu durumlarda bir absorban tüketilir.
- EP'ler bazı diğer sistemlerden daha yüksek sermaye maliyetlerini kapsar.
- Tasarım koşullarında tesis işletimleri sağlanması son derece önemlidir veya performans dikkate değer oranda düşebilir.
- Emniyet tedbirleri yüksek gerilim ekipmanı kullanımında gözlenebilir.
- EP'ler çok büyük olabilir ve alan gereksinimleri de dikkate alınmalıdır.

Tablo 4.4: Elektrostatik çöktürücülerin ana fayda ve zararları**4.4.1.3 Bez Filtreler****Tekniğin açıklanması**

Bez filtre sistemleri mineral işletimlerinde karşılaşılan ince partikül madde kontrol edilmesinde yüksek verimlilikleri nedeniyle Cam Endüstrisindeki çoğu uygulamada kullanılır. Ancak, belirli koşullarda körleştirme potansiyelleri nedeniyle tüm uygulamalarda tercih edilen seçenek değildir. Çoğu durumda bu zorluklara yönelik teknik çözümler mevcuttur, ancak ilişkili bir maliyet de olabilir.

Bez filtrelemenin temel ilkesi gaz geçirgen olan ancak tozu alıkoyan bir bez zar seçmektir. Başlangıçta, toz fiberlerin her iki yüzeyinde ve bezin derinliğinde birikir ancak yüzey tabakası biriktikçe hakim filtre ortamına dönüşür. Toz keki kalınlaştıkça, gaz akışı direnci artar ve filtre üzerindeki basınç düşüşünün kontrol edilmesi için filtre ortamının periyodik olarak temizlenmesi gerekir. Gaz akışının yönü ya torbanın içinde dışarıya doğru ya da dışarıdan içeriye doğrudur.

En yaygın temizleme yöntemleri ters hava akışı, mekanik titretme, vibrasyon ve sıkıştırılmış hava uygulamalarını içine alır. Sıklıkla bu yöntemlerin kombinasyonu kullanılır. Normal temizleme düzenekleri bezin ilk durumuna gelmesi ile sonuçlanmaz. Bezin derinliğinde biriken partiküllerin liflerin arasındaki gözenek büyüklüğünün azaltılmasına yardımcı olduğu ve böylelikle de yüksek verimliliğe erişildiğinden bezin aşırı temizlenmesi faydalı değildir.

Bez filtreler bezin birim alanından geçen kabul edilebilir azami gaz ivmesi olarak tanımlanan beklenen filtreleme ivmesi temelinde tasarlanır (m/s olarak ifade edilir). Filtreleme ivmeleri genellikle uygulama, filtre tipi ve beze göre 0.01 ile 0.06 aralığında uzanır. Filtre tasarımı basınç düşüşü (işletim maliyeti) ile büyüklük (sermaye maliyeti) arasındaki dengeyi en uygun düzeye getirmelidir. Filtreleme ivmesinin çok yüksek olması halinde basınç düşüşü yüksek olacak ve partiküller beze işleyecek ve onu köreltecektir. Filtreleme ivmesinin çok düşük olması halinde ise filtre çok verimli ancak çok da pahalı olacaktır.

Cam tankı fırınlarının atık gaz aşağı akışındaki partiküllerin filtre materyaline yapışma eğilimi nedeniyle, filtre materyalinden çöktürülen partiküllerin temizlenmesi çoğunlukla zorlaşır. Filtre materyalinden partiküllerin kısmi akışının kirli gaz akışına sürekli geri dönüştürülmesiyle partiküllerin birikme eğilimi sayesinde tatminkar sürekli işletim sağlanması kolaylaşır.

Bez seçiminde gazların bileşimi, tozun doğal ve partikül boyutu, uygulanacak temizleme metodu, gerekli yeterlilik ve ekonomi de hesaba katılır. Gazın derecesi de gazın soğutulma metodu hatta mümkünse sonuç olarak ortaya çıkan su buharı ve asit nem noktası ile birlikte dikkate alınmalıdır. Dikkate alınacak bezin özellikleri kimyasal direnç, lif formu ile ipliğin türü, bez dokuması, aşınma direnci, dayanıklılık, toplama verimliliği ve bez geçirgenliğini kapsar.

Atık gaz sıcaklığının bez filtre için doğru aralıkta tutulması önemlidir. Gaz mevcut yoğunlaşabilen türlerin (örneğin H₂SO₄ veya su) nem noktasının üzerinde ve filtre ortamının üst sıcaklık limitinin altında muhafaza edilmelidir. Sıcaklık çok düşük ise yoğunlaşma meydana gelir ki bu da bezin körelmesine neden olur. Şayet sıcaklık çok yüksek ise bu kez de filtre materyali aşınabilir; bunun da değiştirilmesi çok pahalıdır. Konvansiyonel filtre bzleri genellikle 130°C ile 220°C arasında azami işletim sıcaklığına sahiptir ve genelde işletim sıcaklığı ne kadar yüksek olursa maliyet de o kadar yüksek olur. Çoğu cam süreçlerinde atık gaz sıcaklığı 450 ile 800°C arasındadır. Bu nedenle gaz filtreden önce seyreltme veya ısı eşanjörü ile soğutulmalıdır.

Baca gazlarının sidik türler ihtiva etmeleri halinde (özellikle petrolle çalışan fırınlarda) torbalara ve filtre yuvasına zarar verecek asit yoğunlaşmasını önlemek üzere filtreye gaz yıkama süreci tesisinin gerekli olduğu düşünülür. Uygulamada % 1'den daha fazla kükürt içerikli fuel oil kullanılması önerilmez. Boron ihtiva eden baca gazlarına yönelik olarak gaz yıkama aşaması uçucu boron türlerinin çöktürülmesine yardımcı olur ve engelleme olmaksızın tozun daha kolay toplanmasına olanak sağlar.

Çevresel performans

Bez filtreler hayli verimli toz toplama cihazları olup toplama verimliliğinin % 95 -99 oranında olması beklenir. 0.1 mg/m³ ile 5 mg/m³ arasındaki partikülat emisyonlarına erişilebilir ve sürekli 10 mg/m³'nin altında olan seviyeler çoğu uygulamalarda beklenebilir. Bu genellikle 0.1 kg'den ciddi oranda düşük bir ton erimiş cama denk gelir. Tozun önemli ölçüde seviyede metal içermesi halinde bu gibi düşük seviyelere erişme yeteneği önemli olabilir ve düşük metal emisyonları sağlanmalıdır.

Mali düşünceler

Genelde, yatırım maliyetleri elektrostatik çöktürücülere göre daha düşüktür ancak işletim maliyetleri yüksektir. Ancak, azaltım ekipmanı endüstrisindeki rekabet arttıkça EP ve bez filtre maliyetleri daha özellikle büyük gaz hacimleri için birbirine yaklaşmaktadır. Hem sermaye hem de işletim maliyetlerine yönelik farklılıklar genelde Kısım 4.4.1.2'deki EP'ler için ele alınan aralıkların kapsamına girer. Bu durum bazında bir değerlendirmedir ancak düşük sermaye maliyetlerinden ötürü daha küçük tesisler bez filtreleri tercih eder ve düşük hava akımları nedeniyle işletim maliyetleri oransal olarak azalır.

[tm32 Beerkens]'de spesifik bir örnek verilmiştir. 65000 m³/saatlik bir baca gazı hacimli 550 - 600 t/gün yüzdürme cam fırını için filtre veya yarı kuru gaz yıkamaya yönelik sermaye maliyetleri 0.5 milyon euro işletim maliyetleri ile birlikte (faiz ve amortisman hariç) yaklaşık 3 milyon eurodur. Bu toplanan tozun tamamen geri dönüşümünü üstlenir. 20000 m³ baca gazı hacimli bir konteynır cam fırını için, filtre ve yarı kuru gaz yıkamaya yönelik sermaye maliyetleri yaklaşık 1.5 milyon eurodur.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak, bez filtreler Cam Endüstrisi içindeki tüm fırın tipleri ile yeni ve mevcut fırınlara uygulanabilir. Ancak, sektörün çoğunda nispeten yüksek bakım gereksinimleri ile filtre ortamının yüksek maliyetli değişimine neden olan bezin körelme potansiyeli nedeniyle tercih edilen teknik değildir. Modern sistemlerde, bu sorunların bazıları aşılmış olup konteynır cam tesisleri, borosilikat cam tesisleri ve bir yüzdürme cam tesisinde iyi durumda işletilen bez filtre örnekleri mevcuttur. Gaz yıkama aşaması ve düşük yakıt kükürt seviyelerinin ilavesi torbaların körelme eğilimini düşürür.

Blokajların önlenmesini zorlaştıran kuru gaz yıkama aşaması olmaksızın, ince partikülât maddenin yapışık yapısı nedeniyle, bez körelmesinden ötürü filtre blokajları fosil yakıtla çalışan cam yünü fırınlarında (ve diğer bazı boron içerikli camlar) önemli bir konudur. Fırınlar düşük asit türü konsantrasyonları ile birlikte genellikle gaz ateşlemelidir ve bu nedenle elektrostatik çöktürücüler ile gaz yıkama aşamasına gerek yoktur. Bu ise sermaye ve işletim maliyetlerini önemli ölçüde azaltır ve toz geri dönüşümünü çok daha kolay hale getirir.

Bez filtrelerle ilgili başka bir husus da çoğu fosil yakıtlı fırınların duyarlı basınç kontrolü gerektirdiği ve yüksek basınç düşüşlü bez filtre varlığının bunu daha da zor hale getirdiğidir.

Bez filtreler özellikle daha küçük gaz hacimlerine yönelik olarak bir dizi Cam Endüstrisi sektöründe büyük kabul görmüştür. Bu teknik elektrik fırını, taş yünü kupolaları, frit fırınları ve seramik elyaf fırınları ile bağlantılı olarak geniş çapta kullanılır. Bazı daha küçük fosil yakıtla çalışan fırınlarda asit gaz emisyonlarını azaltmak üzere tesis edilmiş gaz yıkama sistemleriyle işletilecek teknik olarak seçilmişlerdir. Bununla birlikte daha küçük süreçler için, elektrostatik çöktürücülere kıyasla bez filtrelerin daha küçük sermaye maliyetleri çok çekici olabilir.

İlgili düşünceler

Şayet bir tekniğe gaz yıkama şaması eklenirse, ya geri dönüşüm için fırına gönderilmesi ya da tahliye edilmesi gereken bir katı atık akışı üretilir. Gaz yıkama evresi genellikle daha düşük toplam asit gazı emisyonlarına yol açar (bakınız Kısım 4.4.3.3 ve 4.4.4.2). gazın geri dönüştürülmesi halinde, bir miktar asit gazı tekrar yayılacaktır. Ancak, genellikle camdaki toplam yükseltmede bir denge olduğunda emisyonlar daha az olacaktır. Daha ileri emilim filtre keki üzerinde gerçekleşebileceğinden gaz yıkamanın verimliliği EP'lere göre bez filtrelerde daha yüksek olabilir.

Bez filtre sistemlerinin genelde düşük işletim maliyetleri nedeniyle, SCR'ler ile birlikte kullanılmak üzere genellikle en iyi tercih değildir. Çünkü atık gaz normalde en iyi verimlilikleri elde etmek üzere 350°C sıcaklık civarında yeniden ısıtılır.

Bez filtrelerle ilgili zorluklardan biri normal çalışma koşullarında bezlerin uzun bir ömre (2 – 4 yıl) sahip olabilmesine rağmen, tesiste herhangi bir sorun oluşur ve bezler körelir yada zarar görürse değiştirme maliyetinin yüksek olmasıdır. Bu tip sorunlar seyrek gerçekleşir ve bu nedenle de elektrostatik çöktürücülerle ilişkilendirilmeyen yüksek maliyet tahakkuk etme riski vardır.

Filtre bezleri hassas malzemelerdir. Güvenilir sürekli bir elektronik kontrol sistemi ile birleştirilmiş iyi geliştirilmiş bir teknik prosedür filtre bezine yönelik engellenebilir hasarı önlemek için gereklidir.

Bez filtreler zarar görürse, emisyon seviyeleri oldukça yüksek olabilir ve torba arıza tespit sistemi eklemek önemlidir. Bunu yapmanın en etkili yolu sürekli toz izlemedir.

Faydalar

- Çok yüksek toplama verimlilikleri.
- Kuru koşullarda ürün toplanması.
- Daha basit uygulamalarda düşük sermaye maliyeti.

Zararlar

- Her zaman geri dönüşümü mümkün olmayan üretilen katı atık akışı.
- basınç düşüşü nedeniyle enerji tüketimi.
- Sıklıkla gaz soğutma gereklidir.
- Bazen bez tavlama gereklidir.
- Bazen pahalı bezler gereklidir.
- Alan gereksinimleri yüksek olabilir.
- Bezin körelmesine neden olan nem noktası sorunları.
- Temizleme havasının (ters akış) bazen ısıtılması gerekir.
- Basınç düşüşünün tasarım değerini aşmasına neden olan bazı tozların püskürtülmesi çok güçtür.
- Bezin belirli aralıklarla değiştirilmesi gereklidir.

Tablo 4.5: Bez filtrelerin ana fayda ve zararları**4.4.1.4 Mekanik Kolektörler**

Bu terim gaz akışından tozu ayırmak için mekanik güç kullanan (yerçekimi, atalet, merkezkaç) teknikleri ifade etmek için kullanılır, yani.

- Siklonlar – gaza verilen dönüş hareketi ve merkezkaç kuvvetiyle ayrılan toz.
- Yerçekimi ayarlayıcıları – gaz, gaz ivmesini düşüren ve gazın çökmesine neden olan büyük bir odaya girer.
- Bölmeler – bölmeler gazın yön değiştirmesine ve tozun çökmesine neden olurlar.
- Kafesler – Tozun çökmesine neden olarak gaz yönünü bölen ve değiştiren küçük bölmeler.

Bu teknikler küçük partiküllere yönelik zayıf toplama verimliliklerine sahiptir ve Cam Endüstrisinde karşılaşılan çoğu tozun küçük partikül boyutu nedeniyle çok nadiren kullanılırlar. Buna istisna özellikle diğer tekniklere yönelik bazı uygulamalarda bulunabilecek siklondur. İşletim ilkeleri ile ana fayda ve zararlar aşağıda özetlenmektedir. Ancak fırın emisyonlarına yönelik etkili bir teknik olarak düşünülmeklerinden ötürü siklonlar ayrıntılı biçimde açıklanmamaktadır.

Siklon durgun bir gaz temizleme cihazıdır. Gaz akışının yönü değiştiğinde toz gaz akımından ayrılır ve toz durgunluğu nedeniyle ilk yönünde devam eder ve sonra da bir toplama yüzeyinde birikir. İki tip siklon vardır, ters akış ve düz akış. Ters akım siklonları çok yaygındır ve konik tabanlı silindirik bir kabuk, bir toz toplama haznesi ve hava giriş çıkış deliklerinden meydana gelirler. Teğetsel ve aksiyal olmak üzere iki temel ters akış siklonu mevcuttur. Bu sınıflandırmalar hava giriş geometrisinden meydana gelir.

Giriş gazı akışı bir kanal göbeğine kanallı edilir ve merkezci kuvvetler sirküler hareketi askıya alırlar. Kritik büyüklüğün üzerindeki partiküller giriş spiralinden daha geniş sirküler yola atılır ve siklon duvarında birikirler. Hava akışı tozu toplama haznesine yollar koninin tabanında gaz akışı ters döner ve gaz çıkış spiralindeki siklon merkezine geri döner.

Genelde, siklonun verimliliği partikül madde hacmi, giriş ivmesi, siklon boyu, gaz devir sayısı, gövde çapının dış çapa oranı, partikül çapı, toz miktarı ve siklon duvarının pürüzsüzlüğündeki artışlara karşılık artış gösterir.

Verimlilik şunlardaki artış ile birlikte artış gösterir: gaz viskozitesi, gaz hacmi, sıcaklık, siklon çapı, gaz çıkış çapı, giriş gaz yolu genişliği ve giriş alanı.

Siklonlar birçok endüstride geniş çapta kullanılır ve 10 μm 'den büyük çapta partiküllerin toplanmasında özellikle uygundur. Tasarıma bağlı olarak, orta/yüksek verimli siklonlar 10 μm 'de % 45 - 90 ile 1 μm 'de % 5 - 30 % toplama verimliliği sağlarlar. Gaz akışından işlenmemiş materyalleri sökmek ve böylece ana azaltım ekipmanına giren toz yükünü azaltmak için daha pahalı teknolojilerden önce gelirler.

Faydalar:

- Düşük sermaye ve işletim maliyetleri (bakım dahil).
- İlmli basınç düşüşü.
- Diğer tekniklere nispeten düşük alan gereksinimi.
- Yüksek toz yükü ile işletim kapasitesi.
- Geniş çapta gaz ve toz ile kullanılabilir.
- Yüksek sıcaklık ve basınç ile işletilebilir.
- Geniş çapta materyalde imalat mümkündür.

Zararlar:

- Küçük partiküllerde düşük toplama verimliliği.
- Hafif veya iğne şekilli materyallerin atılması güçtür.
- Nem noktaları ile karşılaştığında tıkanma oluşabilir.
- Yanıcı materyallerle yönelik patlama kurtarması güçtür.
- Aşındırıcı tozlarla ilgili potansiyel sorunlar.

Tablo 4.6: Siklonların ana fayda ve zararları

4.4.1.5 Yüksek Sıcaklık Filtre Araçları

Konvansiyonel bez filtrelerle ilgili sorunlarda biri atık gaz sıcaklığını filtre materyalinin işletim sıcaklığında muhafaza etme ihtiyacıdır. Sıcaklık üst sıcaklık sınırının üzerinde çıktığında, filtre by-pass veya gaz ile soğutulmalıdır. Konvansiyonel filtre materyalleri 250°C'ye çıkan bazı materyaller ile birlikte (fiberglas) 120 – 180 °C arası sıcaklık sınırına sahiptir. 180 °C'nin üzerinde işleme kapasitesine sahip materyaller için materyal maliyetleri önemli ölçüde artar. Bazı uygulamalarda yüksek sıcaklık ortamı kullanılmıştır ancak bu filtreler normal bez filtre olmamakla birlikte genellikle mum filtre tasarımları ile benzerlik göstermektedir.

Yüksek sıcaklık filtreleri bir takım taş yünü kupolalarından kaynaklı emisyonların azaltılmasında başarıyla kullanılmıştır ancak yüksek maliyetlerinden ötürü artık kullanılmamaktadırlar. Diğer endüstrilerde kullanılan en yaygın yüksek sıcaklık filtreleri seramik filtrelerdir. Ancak, Cam Endüstrisinde bu teknikle ilgili bilinen bir uygulama bulunmamaktadır ve bu nedenle niceliksel maliyet ve çevre performansı bilgileri halihazırda mevcut değildir. Bugüne kadarki uygulamalar genellikle çoğu cam fırınlarındakiler ile ilişkilendirilenlerden önemli ölçüde daha düşük atık gaz hacimleri bulunan endüstrilerde mevcuttur.

4.4.1.6 Islak Gaz Yıkayıcıları

Islak gaz yıkama sistemleri hem gazlı hem de partikül emisyonlarını kontrol etmede kullanılabilir. Bunların her ikisi için de temel teknoloji benzer iken, partikül veya gaz ihracına ilişkin tasarım kriteri çok farklıdır. Ancak, sermaye maliyetlerini aşağı çekmek için ıslak gaz yıkama sistemleri partikül ve gazların karma emisyonlarını kontrol etmede sıklıkla kullanılır. Tasarım kaçınılmaz olarak bir uyumadır ancak ayrı kontrol sistemlerinin engelleyici ölçüde pahalı olduğu durumlarda MET'i temsil edebilir. Islak gaz yıkama sistemleri çözülmeyen partiküllerin blokajına eğilimli olabilir ve atık sulu çamur üretilir. Teknik Kısım 4.5.6.1.2'de ayrıntılarıyla ele alınacaktır.

Bazı uygulamalarda ventüri gaz yıkayıcılar da düşünülebilir. Bu sistemler yüksek basınç düşüşü ve dolayısıyla yüksek güç tüketimi ile işletim maliyetlerine sahiptirler. Ventüri gaz yıkayıcılar ile iyi toplama verimliliği sağlanmasına rağmen bazı uygulamalarda çoğu cam sürecinin ölçeği tekniğin hem teknik hem de ekonomik açıdan uygulanamaz olduğu anlamına gelecektir. Ancak, bu teknik özellikle gazlı emisyonların da mevcut olduğu bazı küçük ölçekli özelleşmiş uygulamalarda kendini bulabilir.

Çoğu cam fırını için ıslak gaz yıkamanın partikülat madde azaltımı için faydalı bir teknik olması ihtimal dahilinde değildir.

4.4.1.7 Kısım 4.4.1'deki Tekniklerle ilgili Düşüncelerin Özeti

Cam fırınlarından partikülat madde emisyonlarının azaltılmasının hem teknik hem de ekonomik bakış açısından tartışılabilir bir konu olduğu kabul edilir. Cam fırınlarında toz arındırmaya yönelik MET değerlendirmesinde rol oynayan bir dizi faktör bulunur. Bunlardan en önemlileri:

- Tozun çevresel etkisi.
- MET'e ilişkin birincil ve ikincil azaltım teknikleri.
- Ölçek ekonomisi ve ilgili maliyet düşünceleri

Tozun çevresel etkisi

Çevresel bakış açısından tozun ilgili hususları genel anlamda toz emisyonu, (ağır) metallerin potansiyel emisyonları ve ince partikülat maddelerin emisyonudur.

Soda-kireç fırınlarında, ana toz bileşeni sodyum sülfattır (% 95'e kadar). Sodyum sülfat kendi başına zararlı kabul edilmez ancak bir katı olarak partikülat madde emisyonuna katkıda bulunur. Bu gibi emisyonlar, genelde cam fırınlarından kaynaklı emisyonlara ilişkin bir durum olan özellikle 10µm'den daha az çaplı partiküller için çevre politikacılarının ilgisini gün geçtikçe daha fazla çekmektedir.

Çeşitli metal türleri de cam fırınlarından kaynaklı partikülat madde içerisinde bulunabilir. Endişe duyulan ana bileşenler selenyum (Se), kurşun (Pb), kromiyum (Cr), bakır (Cu), vanadyum (V), nikel (Ni), antimon (Sb), arsenik (As), kadmiyum (Cd), çinko (Zn) ve manganezdır (Mn). Bu bileşenlerin emisyonları kullanılan geri dönüştürülmüş cam (kırıntı) nicelik ve niteliğine, fuel oil kullanılıp kullanılmadığına ve camın renklendirilmesi ve/veya renksizleştirilmesi için harman bileşimine metal ilavesine bağlıdır. Bu bileşenlerin çoğu büyük ölçüde partikülat maddeye bağlıdır. Ancak, özellikle selenyum, kadmiyum, kurşun ve çinko için bu maddelerin uçucu emisyonları da ayrıca önemli olabilir. Çoğu durumda toz arındırma ekipmanı kurulumuna yönelik itici güç ya uçucu yada tozun içine girmiş durumda olan (ağır) metal emisyonlarının azaltılmasıdır. Gazlı emisyonların azaltılması (SO₂, HCl vb.) da çoğu durumda itici güç olmuştur.

Nihai düşünce noktası bir miktar gazlı boron bileşiklerinin toz azaltım ekipmanından geçebileceği ve atmosfere emisyonundan sonra yoğunlaşabileceği ortamlarda, özellikle boron ihtiva eden camlarda, bacadan sonraki gazlı bileşiklerin potansiyel yoğunlaşmasıdır.

MET ile ilişkili birincil ve ikincil azaltım teknikleri

Cam endüstrisindeki en iyi tesis edilmiş ikincil azaltım teknikleri bez filtreler ile elektrostatik çöktürücülerdir. Kendilerine özgü imkan ve kısıtlamalara sahip olmalarına rağmen her iki teknik de geniş çapta kullanılır. 1998'nin sonuna kadar AB'deki soda-kireç fırınlarının yaklaşık % 30'u ile bazı Üye Ülkelerdeki fırınların % 100'ü toza yönelik ikincil azaltım teknikleri ile donatılmıştır.

Diğer taraftan ikincil tedbirlerin tesisi ciddi mali yatırım ile belirli düzeyde çevresel maliyeti kapsar. Genelde (küçük konteynır tesisler ile büyük yüzdürme tesisler için), sermaye maliyetleri, yıllık 37000 ile 186000 euro işletim maliyeti ile birlikte 0.5 - 2.75 milyon euro aralığında olacaktır. İkincil toz arındırma işleminin tüm durumlarda gerekli olup olmayacağına ilişkin şüpheler bulunmaktadır. Açıkçası birincil tedbirlerin maliyeti ikincil tedbirlerden çok daha azdır ve hiçbir atık veya enerji tüketilmez. Bu ikincil tedbirlerden ziyade birincil tedbirleri seçmek ve birincil tedbirlerin gelişmesini teşvik etmek için iyi bir nedendir.

Avrupa Cam Endüstrisi toz oluşumunun ardındaki mekanizmanın anlaşılması ve birincil toz azaltım tekniklerini geliştirilmesine önemli yatırımlar yapmaktadır, ancak bu sahadaki tecrübeler halen yenidir. Yazılma zamanında sadece çok az sayıda soda-kireç tesisi ikincil azaltım tedbirleri kullanılmaksızın 100 mg/Nm³ altında toz emisyonlarına sahipti, ve 100 - 200 mg/Nm³ (yaklaşık 0.3 kg/ton cam) halihazırda birincil tedbirlerle genellikle erişilebilir aralık kabul edilmektedir. Orta vadede 70 - 100 mg/Nm³ aralığındaki emisyonların mümkün olacağı iddia edilmektedir [tm30 Dust]. Tozdaki ileri azaltımların göreceli faydası bir bütün olarak çevrenin korunması bağlamında ele alınmalıdır.

Birincil tekniklerin olumlu yönleri ikincil azaltım tekniklerinin halihazırda daha iyi performansı (< 30 mg/Nm³ ile < 0.1 kg/ton cam), yakın gelecekte birincil teknikleri ile böyle düşük değerlere erişme beklentisinin eksikliği ve çevresel anlamda özellikle ince partiküller, asit bileşikler ve (ağır) metaller gibi toz emisyonlarını azaltma gereksinimi ile gölgelenmektedir.

Buna ek olarak, toz emisyonlarının azaltılmasına yönelik birincil tekniklerin hususi kullanımı besleme materyallerinin kalitesi (düşük katışıklıklar: florid, klorid ve ağır metaller), yakıt türü (düşük kükürt ve ağır metaller), üretim değişiklikleri, (renklendirilmiş veya renksizleştirilmiş camlar) bağlamlarında fırının işletim koşulları esnekliğini sınırlayabilir.

İleriki yıllarda Cam Endüstrisi cam fırınlarından kaynaklı toz emisyonlarını azaltacak birincil tedbirler potansiyelini daha fazla araştırıp keşfedecektir. Somut kestirimlerin olmaması nedeniyle, gelişmeleri tahmin etmek mümkün değildir. Bu nedenle toz azaltımına ilişkin MET kararı bugün mevcut olan bilgilere dayanmalıdır.

Ölçek ekonomisi ve ilgili maliyet düşünceleri

96/61/EC Direktifinde “elverişli teknik” tanımı mantık sınırları içerisinde erişilebilir olacak şekilde, maliyet ve faydaları göz önünde bulundurarak, ekonomik ve teknik açılarda uygun koşullar altında ilgili sanayi sektöründe uygulanmasına olanak sağlayan bir ölçekte geliştirilecek bir tekniği gerektirir. Genelde Cam Sektöründeki toza yönelik ikincil azaltım teknikleri erişilebilir, teknik açıdan uygun ve durumların büyük çoğunluğu için ekonomik olarak uygun kabul edilir.

Ancak, herhangi bir ikincil teknik için ölçek ekonomisi önemli bir husustur. Küçük fırınlar için göreceli maliyetlerin (muameleden geçen her Nm³ baca gazı başına maliyet) büyük fırınlardakinden genellikle daha yüksektir. Maliyetler uygulama ile özellikle atık gaz hacmine bağlıdır. Ölçek ekonomisi genel düzeyde MET belirlenmesinde hesaba katılmalıdır. Ölçek ekonomisinden ayrı olarak toz arındırmaya yönelik toplam maliyet düşünceleri çevresel faydaları da dikkate alınmalıdır: ince partikül maddelerinin atılması, metaller (mevcut ise) ve asit gaz yıkama (mevcut ise), ile atık üretimi (geri dönüşüm mümkün değilse) ve enerji tüketiminden ötürü sakıncalar.

4.4.2 Azot Oksitler (NO_x)

Azot oksitler (NO_x) terimi NO₂'ye eşdeğer ifade edilen nitrik oksit (NO) ile azot dioksidi (NO₂) kapsar. Nitröz oksit (N₂O) Cam Endüstrisinde normal bir kirletici madde değildir ve NO_x terimini kapsamaz. Cam eritme faaliyetlerinden kaynaklı NO_x emisyonlarının üç temel kaynağı ham maddeler, yakıt ve termal NO_x'dir. Dördüncü kaynak olan hazır NO_x (hidrokarbon radikalleri ile kısa ömürlü kompleks bir rota yoluyla azot tepkimesinden) nispeten önemsizdir.

Nitratlar harman materyallerinde mevcut olduğunda NO_x erimiş materyaller olarak yayılacaktır. Genelde azot bileşiğinin çoğunluğu NO_x olarak yayılır ve cama girmezler. Örneğin NaNO₃ eridiğinde, sodyum bileşiği Na₂O olarak cama girer ve bileşiklerin geri kalanı gaz olarak yayılır (NO_x, O₂ ve N₂).

Yakıt NO yakıtta bulunan azot ile azot bileşiklerinin oksitlenmesinden meydana gelir ancak toplam katkı termal NO_x ile kıyaslandığında düşüktür. Doğal gaz ateşlemesi ile, NO yakıtı etkili biçimde sıfır olur.

Cam fırınlarındaki yüksek sıcaklıklar nedeniyle (alevde 1650°C ile 2000°C'ye kadar) ana NO_x kaynağı 1300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yanma atmosferindeki nitrojenin oksitlenmesinden kaynaklanan termal olarak oluşan NO_x'dir. Ana azot kaynakları yanma havası, atomlaştırıcı hava (petrolle çalışan fırınlarda) ve fırınlara hava sızıntısıdır. Yaygın türler N₂ + O₂ → 2NO tepkimesinden meydana gelen NO (90 - 95 %) 'dir. NO₂ seviyeleri çok düşüktür ve emisyonlarda saptanan çoğu NO₂ NO'nun atmosferik oksidasyonundan kaynaklanır. Fırındaki koşullar öyledir ki nitröz oksit (N₂O) emisyonlarda saptanamaz.

Elektrikle ısıtılan fırınlarda, NO_x sadece harman materyal kırılmasından meydana gelir. Taş yünü kupolalarda toplam azaltıcı bir atmosfer vardır ve NO_x emisyonları genellikle çok düşük olur. Bir afterburner sistemi kurulduğunda emisyonlar meydana gelebilir. Bu tip bir sistemin amacı karbon monoksit ile hidrojen sülfid oksitleştirilmesidir.

Fosil yakıt ateşlemeli fırınlarda diğer tüm faktörlerin eşit olması halinde yakıt tüketimi azaltılmış ise NO_x emisyonları da azaltılır. Bu nedenle, enerji verimliliğini geliştiren teknikler kg NO_x/ton erimiş cam olarak ifade edilen daha düşük toplam NO_x emisyonları ile sonuçlanırlar. Ancak, emisyonların konsantrasyonu özellikle atık gaz hacimleri de düşük olduğunda her zaman azaltılmış olmaz. Termal NO_x azaltımı temel olarak düşük sıcaklık ve azaltılmış yakma havası seviyeleri olmak üzere faktörlerin kombinasyonunun bir sonucudur. NO_x emisyonlarını azaltan ancak esasen enerji tüketimini azaltmayı amaçlayan teknikler Kısım 4.8'de açıklanmış burada ele alınmamıştır.

4.4.2.1 Yakma Modifikasyonları

Tekniklerin açıklaması

Termal NO_x bileşimi aşağıdaki formül ile niceliksel olarak açıklanmaktadır. A ve B kısıtlamalar iken T ise alev sıcaklığı ve t T sıcaklığında ikame süresidir. Gazlar için ilişki konsantrasyonlar ile ilgilidir.

$$NO_x = A \times \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \times N_2 \times O_2^{0.5} \times t$$

NO_x bileşimini etkileyen ana faktörler bu nedenle alev sıcaklığı, tepkime bölgesindeki oksijen içeriği ve alevin yüksek sıcaklık bölgesinde ikame süresidir.

NOx'e yönelik birincil kontrol tedbirleri NOx oluşumuna yönelik en az elverişli koşulları bulmaya çalışır. Termal NOx'i en aza indirecek ana teknikler aşağıda özetlenmiştir.

İndirgenmiş hava /yakıt oranı

Özellikle brülör püskürtme başlığı çevresine ve harman materyal besleyici arasına olmak üzere fırına hava sızıntısı artan NOx seviyelerine neden olabilir. Brülör bloğunun kapatılması nispeten kolay olup harman besleme alanında hava girişini önlemek amacıyla tedbirler alınabilir. Bu tedbirler nispeten ucuz ve oldukça etkilidir. NOx azaltılması açıkça başlangıç seviyesine bağlıdır ancak % 10'a kadar çıkabilir.

Genel olarak fırınlar komple yakmayı temin etmek için % 5 – 10 aşırı hava ile çalışırlar (örneğin % 1 - 2 fazla oksijen). Stoikiyometrik seviyelere erişmek üzere hava/yakıt oranını azaltarak önemli NOx azaltımlarına erişilebilir ve teknik önemli enerji tasarruflarına da imkan verebilir. Tekniğin etkili bir şekilde tesis edilebilmesi için atık gazdaki NO, CO ve O₂ seviyelerinin izlenmesi gerekir. Şayet yakma stoikiyometrik karbon monoksit seviyelerinin altında ise ve refrakter aşınması artabilirse camın redoks seviyesi değiştirilebilir ancak bu camın kalitesini etkiler.

Bu türden bir değişiklik sorunları önlemek ve en iyi neticeyi elde etmek açısından dikkatlice ve artırılarak gerçekleştirilmelidir. Bazı durumlarda (örneğin reküperatif fırınlarda) bir bütün olarak fırının stoikiyometrisi ele alınırsa bazı brülör konumları fırının en sıcak parçalarındaki aşırı hava ile ve diğerleri de soğuk parçalardaki çok az sıcak hava ile ateşlenebilir. Toplamda oran stoikiyometrik orana yakın olacaktır. Başlangıç konumuna bağlı olarak, % 40'a kadar emisyon azalmaları bu teknikler kullanılarak elde edilebilir.

Fırındaki hava seviyeleri, petrol atomizasyonuna yönelik havaya alternatif olarak doğal gaz, yüksek basınç veya buhar kullanılarak daha da azaltılabilir. Bu ise oksijen seviyelerini azaltır ve böylelikle tepe alev sıcaklıklarını düşürür. Bu tekniğe ilişkin sonuçlar bazı uygulamalarda görülen çok az fayda ile beraber karma olagelmıştır.

İndirgenmiş yanma havası sıcaklığı

Alev sıcaklığı yanma havası ön ısıtma sıcaklığının düşürülmesiyle azaltılabilir. Örneğin; reküperatif fırınlardaki yanma havası sıcaklıkları rejeneratif fırınlardakinden çok daha düşüktür, bu ise daha düşük alev sıcaklıkları ve daha düşük NOx konsantrasyonlarına neden olur. Ancak daha düşük ön ısıtma sıcaklığı daha düşük fırın verimliliği (düşük spesifik çekiş), daha düşük yakıt verimliliği ve böylelikle daha yüksek yakıt talebi ve potansiyel olarak daha yüksek NOx, CO₂, kükürt oksit, partikül vb. emisyonlarına (kg/ton cam) neden olur. Bu nedenle bu tekniğin çevresel faydalara sahip olması ihtimal dahilinde değildir.

Aşamalı yakma

Yakıt ile hava/oksijenin brülörde aynı yere enjekte edilmesi halinde porta ve ilerideki soğutucu ikincil bölgeye yakın sıcak oksitleştirici sıcak bölge ile birlikte bir alev oluşur. NOx'in yoğunluğu en sıcak bölgede oluşturulur. Bu nedenle, ya hava ya da brülöre enjekte edilen hava miktarının azaltılmasıyla azami sıcaklık ile NOx oluşumu da azalır. Geriye kalan yakıt veya hava daha sonra yanma bölgesine ilave edilir.

Hava aşamalandırma stoikiyometrik oranların altında ateşleme ve sonra da yanmanın tamamlanması için geriye kalan hava veya oksijenin fırına ilave edilmesini kapsar. Sıcak hava aşamalandırma ile ilgili ilk deneyimler sorunlu olmuştur. Hava aşamalandırma üfleme (BAS) ve Oksijen-Zengin Hava Aşamalandırma teknikleri halihazırda ABD'de geliştirilmekte ve Combustion Tec. tarafından önerilmektedir. Yaklaşık 10 fırın bu sistemle donatılmış olup alınan sonuçlar % 7'ye kadar NOx azaltımı sağlamıştır.

Yakıt aşamalandırma şu ilkeyi temel alır: port boynunda düşük nabızlı bir gaz alevi (toplam enerjinin % 10'u kadar) geliştirilir. Bu ikincil alev birincil alevin oksijen içeriğini ve öz sıcaklığını azaltarak birincil alevin kökünü içine kapsayacaktır.

Bu nedenle, NO_x oluşumu azaltılır. Bu teknik hava aşamalandırma tekniğinden çok daha başarılı olup geniş çapta kullanılmaktadır. Bu teknik kullanılarak % 35'e kadar emisyon azaltımlarına erişilebilir.

Baca gazı re-sirkülasyonu

Fırından gelen atık gaz oksijen içeriğini düşürmek ve böylelikle sıcaklık ile NO_x oluşturma verimliliğini de azaltmak için alev yeniden enjekte edilir. Cam Endüstrisinde bu tekniğin tam ölçekte uygulanmasıyla ilgili sorunlarla karşılaşmıştır ve artık kullanılması düşünülmektedir. Yazılma sırasında bu tekniğin bu uygulamada teknik olarak onaylanmış olduğu düşünülmektedir.

Düşük NO_x brülörleri

Bu NO_x oluşumunu en aza indirmek için tasarlanmış geniş çapta müseccel veya cam şirketi brülör sistemlerini kapsamak üzere kullanılan bir terimdir. Bu sistemler prensipte değişiklik gösterebilir ve yukarıda açıklananlardan bazıları ve aşağıda sıralanmayan diğerleri de dahil çok çeşitli özellikleri kapsarlar. Yaklaşık 30 civarında emisyon azaltımlarına bu optimize sistemler kullanılarak erişilebilir. Gaz ateşlemeye yönelik sistemler petrol ateşlemeye yönelik olanlardan bazı hususlarda farklıdır. Düşük NO_x brülör sistemlerinin ana özellikleri şunlardır:

- Tepe alev sıcaklıklarını düşürmek için yakıt ve havanın daha yavaş karıştırılması (alev şekillendirme).
- Tam yanmaya uygun asgari enjeksiyon ivmeleri.
- Daha iyi çıkarma ve toplamda daha düşük sıcaklıkta alev sağlamak üzere gazlı yakıtların termal çatlamasını teşvik eden daha yüksek çıkarma alevleri.

Yakıt seçimi

Cam Endüstrisindeki genel tecrübe gaz ateşlemeli fırınların petrolle çalışan fırınlara göre daha yüksek NO_x emisyonu üretmeleridir. Örneğin çalışan tipik bir yüzdürme cam fırını için NO_x konsantrasyonları Kısım 3.4.2.2'de gaz ateşlemeye yönelik olarak 2500 mg/m³ olarak verilmişken petrol ateşlemeye yönelik ise bu oran 1800 mg/m³ olarak verilmiştir. Fırın tipleri ile uygulamalar arasında büyük farklılıklar olabilir ancak % 25 – 40 arası bir farklılık bulunması rastlanan bir neticedir.

Bunun temel nedeni gaz alevlerinin fuel oil alevlerine göre daha düşük termal çıkarma sahip olmasıdır bu ise eriyik cama aynı ısı transferini sağlamak için daha yüksek alev sıcaklıkları gerektirir ve NO_x oluşumu için daha elverişli bir ortam yaratır. Ancak endüstri gaz ateşleme konusunda daha fazla deneyim biriktirdikçe ve fırın tasarımları değiştikçe NO_x emisyonlarındaki fark ile iki yakıtı yönelik yakıt gereksinimleri de azalacaktır. Bazı uygulamalarda (örneğin; konteynır cam) fuel oil ateşleme ile sağlanan emisyon seviyelerine gittikçe daha fazla yaklaşan yakıt verimliliği ve NO_x emisyonları uygun alev ayarlaması ile sağlanmıştır. Doğal gazın azot içeriği genelde önemsenecek kadar düşüktür ancak NO_x üzerinde müteakip bir neticeye sahip olup bölgeden bölgeye değişmektedir.

Çevresel Performans

Bu teknikler kullanılarak sağlanan ipucu niteliğindeki emisyon azaltımları her bir tekniğe yönelik açıklamada verilmiştir. Aynı büyük hedefe farklı ulaşma yolları olduklarından bu tekniklerin etkileri kümülatif değildir. Bu nedenle bir teknikten ortaya çıkan % 10'luk azaltım farklı bir teknikten gelen % 10'a basitçe eklenemez. En uygun düzeye getirilmiş yakma sistemlerine yönelik toplam emisyon azaltımları % 10'dan az ile % 70'den fazlaya kadar değişiklik gösterebilir. Bu teknikler kullanılarak hiç çalışma yapılmayan veya çok az çalışma yapılan fırınlarda % 40 – 60 oranında NO_x emisyonu azaltımı çoğu uygulamada beklenebilir.

Bu tekniklerle erişilebilir fiili emisyon seviyeleri başlangıç noktası, fırın yaş ve tasarımı ve özellikle bu tekniklerin uygulama ve izlenmesindeki titizliğe bağlı olarak büyük oranda değişiklik gösterir. Gereği gibi uygulandıklarında nispeten basit tedbirlerle büyük ölçüde başarı sağlanabilir. Cam Endüstrisi 1990'larda büyük başarı kaydetmiş ve çok sayıda kaynak işe adanmıştır.

Uç ateşlemeli rejeneratif fırınlar çapraz ateşlemeli rejeneratif fırınlardan daha düşük NO_x emisyonu üretir (bakınız Kısım 4.2) ve bu kısımda açıklanan teknikler uç ateşlemeli fırınlara yönelik olarak genellikle daha başarılıdır. 700 - 1100 mg/m³ ve 0.9 – 2 kg/ton cam emisyon seviyeleri çapraz ateşlemeli fırınlar için sağlanmıştır. Uç ateşlemeli fırınlara yönelik, 650 - 800 mg/m³ ve 1.5 kg/ton camdan daha az oran sağlanmıştır. Belirli uygulamalar için bu seviyelerin altında az sayıda rakam bildirilmiştir.

Rekuperatif fırınlara yönelik sonuçlar çok daha çeşitlidir ancak bu fırınların daha çeşitli kullanımından kaynaklanabilir. Rejeneratif fırınlar ile kıyaslanabilen (veya bazen daha düşük olan) sonuçlar konteynır cam ve sürekli cam filament rekuperatif fırınlarda sağlanmıştır ancak cam yünü üretiminde daha az başarı sağlanmıştır.

Mali düşünceler

Yanma modifikasyonlarının maliyetleri nispeten düşüktür ve bazen de enerji tasarruflarından daha düşük işletim maliyetleri ile dengelenebilir. Düşük NO_x brülör sistemleri büyüklük ve tipe bağlı olarak fırın başına 100000 ile 550000 euro arasında maliyete denk gelir; 65000 ile 90000 euro da sistemlerin kontrol ve izlenmesi için ilave edilir. Brülörlere yönelik maliyetler ilave maliyetleri değil değişim masraflarını temsil eder. Yeni bir fırın için ekstra maliyetler çok düşük olacaktır. Hava aşamalı yakma sistemleri çok daha pahalı olabilir.

Formülasyon optimizasyonu ile birlikte bu birincil teknikler genellikle ikincil azaltım tekniklerinden çok daha ucuzdur. Karşılaştırmalı maliyetler Kısım 4.4.2.9'da ele alınır.

Uygulanabilirlik

Prensiple olarak (ve yukarıda ifade edilen kısıtlamalara tabi olarak), bu teknikler tüm konvansiyonel fosil yakıt ateşlemeli fırınlara uygulanabilir. Tekniklerin çoğu hem mevcut hem de yeni fırınlara uygulanabilir. Ancak bazı tekniklerin faydaları (örneğin; düşük NO_x brülörleri) sadece yeni bir fırın veya yeniden inşaada gerçekleştirilebilen optimum fırın tasarımı ve geometrisi ile birleştirildiğinde tamamen gerçekleştirilebilir.

Bu tekniklerle ulaşılan başarı işletmen deneyimi ve bilimsel kaynaklara da bağlı olabilir. Sistemlerin en uygun düzeye getirilmesi kademeli deneyleme süresi ile izleme ve yüksek derecede teknik uzmanlık ve tecrübe gerektirir. Kaynaklara sahip olmayan işletmenler için, uzman danışmanlar fırın yakma modifikasyon ve optimizasyonuna yönelik hizmetler sunarlar. Bu geliştirme işi elbette tekniklerin maliyetlerine katkıda bulunur.

Bu tekniklerin uygulanabilme derecesi ürün ve süreç gereksinimlerine bağlı olarak da değişiklik gösterecektir. Örneğin; bazı evsel cam üretiminde, ürün kalite kısıtları yüksek oksitli çok temiz bir gaz talep eder. Bu da faha yüksek ikame süreleri, oksitleyici maddelerin kullanımını kapsar ki bunlar daha NO_x emisyonlarına katkıda bulunur ve yukarıda açıklanan bazı tekniklerin kullanımını kısıtlar. Bu örnek aşağıdaki Kısım 4.4.2.2'de daha fazla ele alınmaktadır.

İlgili Düşünceler

Faydalar:

- Düşük görelî maliyetler.
- Çoğu fırın tipleri için NO_x emisyonlarında ciddi azaltım sağlanabilir.
- Yeni ve mevcut fırınlara uygulanabilir.
- Bu tekniklerin hiç önemli olumsuz çevresel etkisi bulunmamakla birlikte çoğunlukla önemli enerji tasarrufuna imkan verirler.
- Daha düşük fırın sıcaklıkları ve enerji kullanımı ayrıca daha düşük toplam emisyonlar ile sonuçlanır.

Zararlar:

- En iyi sonuçları elde etmek için önemli uzmanlık gerektirir.
- En iyi sonuçları elde etmek için değiştirilmiş fırın tasarımı gerekli olabilir.
- Redoks değişiklikleri nedeniyle cam kalite sorunlarını önlemek için dikkat gereklidir.
- CO seviyeleri refrakter zararını önlemek için kontrol edilmelidir.
- Daha azaltıcı atmosfer SO₂ emisyonlarını teşvik edebilir.

Tablo 4.7: Yakma modifikasyonlarının temel fayda ve zararları

4.4.2.2 Harman Formülasyonu

Nitratlar cam imalatında oksitleştirme aracı olarak ve ayrıca durultma aracı olarak kullanılır. Bugüne kadar en kullanılan yaygın nitrat sodyum nitrat olmuştur ancak bazı özel cam uygulamalarında potasyum veya baryum nitrat da kullanılır. Sodyum nitratın durultma aracı olarak rol oynamasına rağmen birincil kullanımı oksitleştirmedir ve çoğu uygulamada sodyum sülfat tercih edilen durultma aracı olmuştur. Eritme süreci sırasında nitratlar NO, NO₂, N₂, ve O₂ oluşturma üzere ayrışır. O₂ çok berrak cam sağlamak ve harman materyallerinin organik bileşiklerini oksitlemek üzere eriyiği (özellikle demir Fe²⁺ Fe³⁺) oksitlerler.

Nitrat kullanımı Cam Endüstrisinin farklı sektörlerinde büyük ölçüde değişiklik gösterir. Bazı yüksek kaliteli, çok renksiz veya gri yada beyaz cam gibi yüksek renkte cam üretimi hariç olmak üzere düz cam veya konteynir cam sektöründe çok nadir kullanılırlar. Nitratlar yüksek optik berraklık ve dolayısıyla düşük Fe²⁺ seviyeleri gerektiren yüksek kalitede ürünlere yönelik Eysel Cam Sektöründe de kullanılırlar. Nitratlar TV camı, borosilikat, seramik ve optik camlara yönelik özel cam sektöründe de geniş çapta kullanılırlar. Çok oksitli cam üreten veya organik bileşikler içeren ham maddelerin eritildiği (örneğin cam yünü atığı) durumlarda oksitleştirme aracı olarak nitratlara gereksinim duyabilir. Hepsinde de AB cam üretiminin tahmini % 7 – 9'u önemli miktarlarda nitrat kullanımını kapsar.

Girilen tipik miktarlar yaklaşık % 0.5 - 1 nitrat yani 1 ton cam için 5 - 10 kg NaNO₃'dur. Örneğin TV camı gibi bazı süreçlerde bu rakam % 4 veya daha yüksek bir rakama çıkabilir. Eritme işlemi sırasında yayılan ana gazlar sadece düşük seviyede N₂ ve NO₂ ile birlikte NO ve O₂'dir. Harmana giren nitratın % 1'i için maksimum NO_x emisyonu 5.4 kg/ton camdır. Bu değer % 8 O₂'de yaklaşık 2700 mg/Nm³'e eşdeğerdir. Nitratlardan kaynaklanan NO_x emisyonları % 30 ile 80 arasında değişiklik gösterir. Endüstriyel koşullarda tipik değer yaklaşık % 50 ile 65 arasındadır.

Nitratlardan yayılan NO miktarı ısıtma oranı, harmanın redoks durumu ile harman örtüsüne temas eden azaltıcı gazların etkisine (azaltıcı alevler) bağlıdır.

Nitratlara etkili alternatifler çevresel veya ekonomik hususlar ile kısıtlanır. Örneğin; sülfatlar da kullanılabilir ancak gerekli miktar üç kat fazladır ve SO₂ yayılır. Arsenik oksitler de kullanılabilir ancak bunlar çevresel nedenlerle mümkün mertebe aşamalarla bitirilirler. Bazı durumlarda seryum oksitlerin de kullanılması mümkündür ancak çoğu kez sodyum nitratından daha pahalıdır.

Bazı süreç modifikasyonları da nitrat gereksinimini azaltabilir ancak bunlar kalite değerlendirmeleri, enerji gereksinimleri, üretilen iş kısıtlamaları veya termal NO_x üretiminden ötürü genellikle engelleyicidir.

Sonuç olarak endüstri içerisindeki geçerli görüş nitrat seviyelerinin ürün ve eritme gereksinimleri ile asgari uygunluk deneyimleri ile azaltılabileceğidir, ancak ekonomik ve çevresel nedenlerden ötürü etkili bir alternatif halihazırda mevcut değildir.

Çoğu Üye Ülkelerde mevzuat nitrat ilavesi gerektiren camlara yönelik olarak NO_x emisyon sınırlarının iki katına çıkmasına izin vermektedir. Bu yöntemin genellikle 96/61/EC Direktifi amaçlarına uygun olmadığı düşünülmektedir. Nitrat ilave seviyelerindeki geniş çaplı değişikliklere izin vermez ve nitrat kullanımının en aza indirilmesine çok az teşvik verir. Bununla birlikte, sadece çok az miktarlarda nitrat ilave eden süreçlerde emisyon sınırının iki katına çıkması yüksek termal NO_x emisyonlarını gizleyebilir ve ateşleme koşullarını en uygun düzeye getirme teşvikini azaltabilir.

Nitrat ilavesi eritme sürecinin izole bir özelliği olarak düşünülemez. Genelde nitrat gerektiren camlar kullanımları ile ilişkili diğer spesifik kısıtlara da sahiptir. Örneğin soda-kireç camı sofra takımı veya lüks ambalajlara yönelik eritme süreci sadece nitratların kullanımı yönünden değil ayrıca ikame süresi (en az % 50 daha uzun), eriyikte ve fırında daha fazla oksitleyici koşullara gereksinim ve yüksek cam sıcaklıkları (50°C ile 100°C arası daha yüksek) yönünden de konteynır cam üretiminden ayrılır. Bu hususların hepsi cam üretimi birimi başına daha yüksek NO_x emisyonlarına katkıda bulunur ve konteynır cam uç-port ateşlemeli rejeneratif fırınlardakine kıyasla 2 veya 3 kat daha yüksektir.

Nitrat ilavesini azaltmaya yönelik metotların maliyeti ile erişilebilen emisyon seviyelerinin nicelendirilmesi çok güçtür. Büyük ölçüde başlangıç noktalarına bağlı olup son derece duruma özgüdür.

4.4.2.3 Özel Fırın Tasarımları

NO_x emisyonlarına yönelik endişeler bazı fırın tasarımcılarını daha düşük alev sıcaklıklarına ve dolayısıyla daha düşük NO_x seviyelerine olanak vermeyi amaçlayan çeşitli özellikleri bünyesine alan reküperatif tip fırınları önermeye itmiştir. Bu tip fırınlardan en bilineni Sorg LoNO_x® eritecidir. Genellikle sürekli olmayan uygulamalarda kullanılması amaçlanan ve LoNO_x® eriteci ile kıyaslanabilir emisyon düzeylerine sahip olduğu anlaşılan Sorg'un diğer bir tasarımı da Flex® eritecidir. Flex® eritecine yönelik kısa bir açıklama Bölüm 2'de verilmiş olup burada sadece LoNO_x® eriteci ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

Tekniğin Açıklaması

[Sorg LoNO_x], [tm19 5yrs LoNO_x]

Sorg LoNO_x® eriteci indirgenmiş termal performans cezası olmaksızın azaltılmış NO_x seviyeleri sağlamak amacıyla sığ harman arıtma ve ham madde ön ısıtması kullanır. Sığ harman arıtıcı önemli kritik akım yolunu cam havuzunun yüzeyinin yakınına iter ve böylelikle onunla fırın üst yapısı arasındaki ısı farkı azaltılmış olur. Fırın kıyaslanabilir konvansiyonel bir fırından daha düşük sıcaklıklarda çalışabilir.

Yanma havası ön ısıtması reküperatif olup rejeneratif fırınlara kıyasla yanma havası ön ısıtmasındaki azalmayı telafi etmek üzere iki aşamalı ham madde ön ısıtması kullanılır. Ana brülörlerden gelen atık gazlar reküperatörlere girmeden önce yoğun ön eritme bölgesinde fırına giren ham maddelere geçerler. Reküperatörlerden çıkarken atık gazlar son olarak sistemi terk etmeden önce harici kırıntı ön ısıtmasından geçerler.

LoNOx® eriteci temelde uzun ve dardır ve üç bölüme ayrılmıştır. İlk bölüm harman ve cam kırıntılarını ön ısıtmak ve sonra da ön eritmek için kullanılır. Bunun ardından cam harman derinliğinin 400 mm'ye (veya daha az) indirgenmiş arıtım alanı gelir. Ve son olarak derin arıtıcı ile tank tamamlanır.

Ana ısıtma eritme alanındaki gaz veya petrol brülörleri ile sağlanır. Atık gazlar fırının ilk bölümündeki harman veya cam kırıntılarının üstünden boşaltılır. Fırın, fırına giren ham maddelerin fırının sıcak bölümünden gelen radyasyon ile doğrudan ısıtılmamasını sağlamak için iç duvarlarla bölünmüştür. Bu nedenle ham madde ve gazlar arasında yüksek sıcaklık farkı sağlanır ve etkili ısı aktarımı da gerçekleştirilmiş olur. Küçük miktarda elektrik desteği de ön ısıtma alanındaki konveksiyon akımlarının idamesine destek olmak için kullanılabilir. Bu etki eritme bölgesinin sonuna yakın tesis edilen kaynakıcılar ile desteklenir.

Harici kırıntı ön ısıtıcısı reküperatörün arkasında konumlandırılır ve LoNOx® eritecinin önemli bir parçasıdır. Sıcak atık gazların ve ısıtılacak kırıntıların birbirleriyle temas halinde olduğu doğrudan ısıtma sistemidir. Kırıntı ve atık gazlar anaför olarak akarlar. Kırıntı yukarıda kule konstrüksiyonuna girer ve yolunu yavaşça çıkışa doğru aşağı çevirip üstten boşalır. Ön ısıtıcı atık gazları kırıntı sütunundan eşit olarak dağıtan dahili kafes tip vanalara sahiptir. Kırıntının ön ısıtıcıdaki ikame süresi yaklaşık beş saattir. Atık gazlar ön ısıtıcıya tipik olarak 500 °C'de girer ve tipik olarak 200 °C'de çıkarlar. Kırıntı ön ısıtma sıcaklığı tipik olarak 400 °C'dir.

Çevresel Performans

Düşük işletim sıcaklıkları nedeniyle, oldukça düşük NOx seviyelerine erişilmiştir. [Sorg LoNOx]'da erimiş bir ton cam başına 1kg az NOx'a denk gelen 420 - 440 mg/Nm3 arasında sürekli emisyon bildirilmiştir. Düşük emisyonlar da artırılmış işletim deneyimi ve yakma optimizasyon teknikleri ile mümkün olabilir.

Mali Düşünceler

[tm6 NOxInd.duVerre]'de 350 ton/gün kapasiteli bir konteynır cam fırını için bu tekniğin ilave işletim maliyetleri dikkate almayacak kadar önemsizdir ancak ilave sermaye maliyeti 1.8 milyon euro aralığında olabilir. Şu an için başka bir bilgi mevcut değildir.

Uygulanabilirlik

Teknik, yüksek kırıntı seviyeleri olmaksızın erişilmesi güç olan önemli ham madde ön ısıtma işlemine dayanır. Bu fırınlar örneğin % 70'den fazla yüksek seviyede kırıntı kullanıldığında sadece gerçekten uygun olabilir. Bu nedenle, yazılma zamanında bu tekniğin sadece Konteynır Cam Sektörüne ve > %70 kırıntı seviyeli fırınlara uygulanabilir. Teknik sadece tam yeniden inşada uygulanabilir. Tankın ebatları (uzun ve dar) alan kısıtlamalarının olduğu durumlarda uygulanabilirliği kısıtlayabilir.

İlgili Düşünceler

Teknik iyi eritme verimlilikleri sağlayabilir. % 90 – 95'lik bir kırıntı oranlı ve % 3 elektrik destekli oran için yaklaşık 3.3 GJ/ton erimiş cam bildirilmiştir [tm19 5yrs LoNOx]. Bu rakam modern rejeneratif fırınlarla olumlu şekilde mukayese kabul edebilir.

Düşük cam derinliklerinden ötürü tasarımın özünde var olan bir özelliği de uzun dar bir fırın olması ve belirtilmiş bir çekiş oranı için konvansiyonel tasarımdan önemli ölçüde daha büyük olabilmesidir. Bu ise alan gereksinimlerini artırır ve fırına yönelik sermaye maliyetini düşürebilir.

Konteynır cam üretiminde yüksek karma kırıntı seviyeleriyle ambar cam üretimi güç olabilir. Kısmen düşük cam derinliğinden ötürü bu teknik bu bağlamda nispeten verimlidir ve amber camı yüksek miktarda renkli karma kırıntı ile % 95 oranına kadar üretilmiştir.

Tüm kırıntı ön ısıtma sistemlerinde olduğu gibi kokulu maddeler ve potansiyel dioksin/furanlar da dahil olmak üzere organik tür emisyonları potansiyeli mevcuttur. Ölçümler 0.1 ng/Nm³ TEQ altında dioksin emisyonları göstermiştir. Bu konular Kısım 4.8’de daha ayrıntılı açıklanmaktadır.

Örnek Donanımlar

Gerresheimer Glas, Budenheim, Almanya – Konteynır Cam.
Wiegand & Söhne, Steinbach am Wald, Almanya – Konteynır Cam.

4.4.2.4 FENIX süreci.

Tekniğin Açıklaması

FENIX süreci enerji tüketiminin azaltılması ile yakma optimizasyonuna yönelik olarak bir dizi birincil tedbirlerin kombinasyonuna dayanır. Kısım 4.4.2.1’de açıklanan teknikler ile birlikte, FENIX’e yönelik yakma optimizasyonu da aşağıdakilerle ilgilidir:

- cam kalite sorunları veya karbon monoksit emisyonlarına neden olmaksızın fazla havanın azaltılması;
- sıcak noktaların bastırılması ve alev sıcaklıklarının homojen hale getirilmesi ve
- yakıt ve yanma havasının kontrollü düzeyde karıştırılması.

Ancak, FENIX süreci de ayrıca yakma sürecinin komple modifikasyonu ve özellikle yeni enjektör türlerinin kullanılmasını kapsar. Bu modifikasyonlar bir patent uygulaması konusudur. Teknik ayrıca fırın kontrol sistemi ile belirli fırın parametrelerini izleme metodlarının tesisinin değerlendirilmesini kapsar. Özellikle oksijen milleri fazla hava seviyelerinin daha iyi kontrol edilmesini sağlamak için rejeneratör odalarının üzerine yerleştirilir.

Yakma sistemi modifikasyonlarının temel özellikleri patent uygulamasında [tm36 FENIXpat] açıklanmış ve aşağıda özetlenmiştir.

Sıcaklık zirveleri alev hacmini artırırken alev boyunun idamesi ile sınırlandırılmaktadır. Yakmanın aşamalandırılması teması dağıtacak ve/veya alev hacmini arttıracak yakıt ve oksidan kaynağının kontrolü ile sağlanır. Fırının en sıcak seviyesinde % 100 oksijen alevi kullanılabilir. Temasın dağıtılması en az bir enjektör üzerindeki atıl bir “tampon” kullanımı ile kısmen sağlanır. Atıl gaz CO₂ yada geri dönüştürülmüş baca gazı olabilir ve ana yakıt ile oksidan kaynakları arasına enjekte edilir. Bu ise alev gelişimini fırının merkezine iter ve daha geniş hacimli daha büyük alev sağlar.

Oksidan ile yakıt arasındaki temas ana yakıt kaynağı enjektörlerinin üzerindeki hava giriş açıklığına yakın konumlandırılan ikincil yakıt enjektör(ler)i ile de geciktirilebilir. Teknik ayrıca toplam hava fazlalığı olmaksızın camın üzerinde oksitleştirici bi atmosferin idamesini teminen çeşitli konumlara hava enjektörleri kullanımını kapsayabilir. Bu cihazlar yakmanın kontrol edilmesine yardımcı olmak için de kullanılabilir. Bu tekniğin çok önemli bir tarafı da ayrıntılarının gizli kabul edildiği brülör tasarımıdır.

Çevresel Performans

FENIX süreci nispeten yeni bir tekniktir ve Fransa Aniche’deki Saint-Gobain yüzdürme cam hattında, sadece bir fırın üzerinde geliştirilmiştir. Bu tesisten alınan sonuçlar [tm24 FENIX]’de rapor edilmiştir.

NO_x konsantrasyonu % 63'lük bir azalma ile 1600 mg/m³'den 580 mg/m³'e düşürülmüştür. Erimiş cam tonu başına NO_x kütlesi % 68'lik bir azalma ile 4 kg/ton'dan 1.25 kg/tona düşürülmüştür. Tekniğin uygulanması ayrıca % 6 civarında bir enerji tasarrufuna imkan verir (% 21 kırıntı ile 5.76GJ/ton ile 5.4 GJ/ton arasında).

[tm24 FENIX]'in yayımlanmasının ardından 510 mg/m³ ile 1.1kg/ton eriyik cam seviyesindeki emisyonların Aniche tesisinde sağlandığı teyit edilmiştir.

Mali Düşünceler

Tecrübe edilen enerji tasarrufları nedeniyle teknik esasen toplam maliyet tasarrufuna olanak verir. Ancak, bir başlangıç sermayesi gideri mevcuttur ve yatırım geri dönüşü genellikle iki yıldan az olmak üzere oldukça kısa sürede gerçekleşir. Sermaye maliyetleri yeni brülörler ile geliştirilmiş kontrol sistemlerini kapsar (yaklaşık 700000 Euro).Yeni brülörler ile yeni bir kontrol sistemi gerektiren yeni bir tesis veya yeniden inşa için ilave maliyetler çok düşük olacaktır. Değerlendirmeler ayrıca ruhsat ücretleri ile süre ve tekniğin hayata geçirilmesi için gerekli uzmanlık konularına ilişkin olarak da yapılmalıdır.

Uygulanabilirlik

Yazılma zamanında, teknik % 1'den daha az kükürt içerikli ağır fuel oil ile çalışan sadece bir çapraz ateşlemeli rejeneratif yüzdürme cam fırınına (600 ton/gün) uygulanmıştır. Ancak, tekniği geliştirenler prensip olarak, gaz ateşlemeye yönelik modifikasyonlar gerekli olmasına rağmen tekniğin herhangi bir çapraz ateşlemeli fırına uygulanabileceğini ifade etmektedirler.

Teknik, halihazırda gaz ateşlemeli fırın da dahil olmak üzere gruptaki diğer fırınlara uygulanma aşamasındadır. Her bir fırın için, teknik uzman bir ekip tarafından titiz bir uygulama gerektirmektedir. Saint-Gobain, ruhsatın koşulları konusunda bir anlaşma sağlaması koşuluyla diğer cam üreticilerine FENIX teknolojisi kapsamında münhasır olmayan bir ruhsat vermeye hazır olduğunu ifade etmiştir.

İlgili Düşünceler

Yazılma zamanında, bu teknik geniş çapta uygulanabilir ve teknik olarak kabul edilmiş görünmesine rağmen sadece bir sürece uygulanmıştır. Ancak, tüm birincil tedbirler ile birlikte, sonuçlar uygulamadan uygulamaya değişiklik gösterir. Aniche'de elde edilen neticelerin otomatik olarak tüm durumlarda elde edilebileceğini varsaymak mümkün değildir. Diğer uygulamalardaki sonuçların kıyaslanabilir olması beklenir ancak yerel koşullara bağlı olarak daha iyi veya kötü olma ihtimali mevcuttur.

Bu teknikle ilişkili temel konu uygulanabilir durumlarda diğer süreçlere de elverişli ve uygulanabilir sayılıp sayılamayacağıdır. Tekniğin uygulanması uzmanlaşmış ve zaman harcayan bir süreçtir. Saint-Gobain teknolojiye ruhsat verme konusunda istekli olduğunu ifade etmiş olmakla birlikte mevcut uzmanlığın orta vadede tekniğin geniş çaplı uygulanmasına olanak sağlayacak kadar yeterli olup olmadığı sorusu halen cevapsız kalmaktadır.

Örnek Donanımlar

Saint-Gobain Vitrage, Aniche, Fransa – Yüzdürme Cam.

4.4.2.5 Oksi-Yakıt Eritme

Tekniğin Açıklaması

Oksi-yakıt eritme işlemi yanma havasının oksijen ile yer değiştirilmesini kapsar (% >90 % saflık). Teknik, yakıt olarak gaz kullanımı daha yaygın olmasına rağmen ister doğal gaz ister petrole birlikte kullanılabilir

Yanma atmosferinden kaynaklı nitrojenin çoğunluğunun atılması oksijen katışıksızlığına bağlı olarak atık gazların (temelde CO₂ ve su buharından ibarettir) hacmini % 70 ile 85 oranında azaltabilir. Genel olarak, oksiyakıt fırınları çoklu lateral brülörler ve tekli atık gaz çıkış portu ile birlikte reküperatif eriticiler ile aynı temel tasarıma sahiptirler. Çoğu modern fırınlarda geometri oksiyakıt ateşlemesi ve NO_x optimizasyonuna yönelik olarak en uygun seviyeye getirilir. Oksijen yakımı için tasarlan fırınlar emniyet nedenlerinden ötürü brülörleri besleyen ısı yenileme sistemlerini halihazırda kullanmazlar.

Atmosferik nitrojenin alev sıcaklıklarına ısıtılması gerekmediğinden bu teknik potansiyel olarak ciddi ednerji tasarrufunu kapsar. Daha az gazın ısıtılması gerekir ve bu nedenle fırından daha az enerji kaybolur. Enerji tasarrufunun kapsamı büyük ölçüde kıyaslandığı fırına bağlıdır. Bu karmaşık konu bu bölümde daha sonra anlatılacaktır.

Biraz nitrojenin halen yanma ortamında mevcut olmasına rağmen fırındaki ana azot kaynağı çok daha düşük olduğundan termal NO_x oluşumu büyük ölçüde azalmıştır. Bu ise oksijende kalan azot (VSA/PSA % 4 - 6, sirojenik % <0.5), yakıttaki azot (doğal gaz % 2 - 15), nitrat çözülmesinden kaynaklı azot ve herhangi bir parazit havadan kaynaklanabilir. Yüksek alev sıcaklıklarından ötürü mevcut herhangi bir N₂ daha kolay NO_x'e dönüştürülür ve hatta düşük N₂ seviyeleri oldukça önemli olabilir. Bu nedenle fırına giren havanın en aza indirilmesi önemlidir.

Fırın atık gaz sıcaklığı çok yüksek olabilir 1200 - 1300°C ve genellikle soğutulması gereklidir. Yüksek su içeriği ve korozif türlerin konsantrasyonu nedeniyle (örneğin klorid ve sülfatlar) soğutma suyla seyreltme yoluyla yapılır. Seyreltmenin ardından, atık gaz hacimleri gerekli seyreltme derecesine bağlı olarak genellikle konvansiyonel fırın atık gaz hacimlerinin % 70 – 150 aralığındadır.

Oksiyakıt eritme işlemi konvansiyonel hava-gaz ateşlemelerinde bulunanlardan daha farklı tasarımlar gerektirir. Tekniğin sektöre sokulmasından itibaren, brülör sistemleri diğer oksiyakıt uygulamalarına yönelik mevcut tasarımların ilk modifikasyonlarından özel olarak cam imalatı için geliştirilmiş mevcut son derece uzman düşük NO_x oksiyakıt brülörlerine kadar ciddi geliştirme sürecinden geçmiştir. Bu sistemler konvansiyonel ateşlemeye yönelik diğer düşük NO_x yüksek verimli brülörlerin bazı özelliklerini gösterebilirler. Ana müseccel sistemlerin bazı önemli özellikleri aşağıda özetlenmektedir.

- Daha derin ve daha tektip ısı aktarımı sağlayan daha iyi parlaklığa sahip daha uzun ve geniş alevli brülörler.
- Daha geniş kapsamlı daha düz alevler.
- O₂ yönünden zengin alandaki tepe alev sıcaklıklarını düşürecek yakıt ve oksijenin geciktirilmiş karışımı.
- Su soğutma yok.
- Hız ve şekil vermeye yönelik alev ayarlanabilirliği.
- Çoklu yakıt kullanımı.

Yakma için gerekli olan oksijen ya sahaya dağıtım ya da yerinde üretim ile tedarik edilebilir. Çok küçük uygulamalar (örneğin bazı frit tesisleri) hariç olmak üzere, gerekli oksijen miktarları genellikle sahada oksijen üretmeyi daha ekonomik kılar. Ancak, bir saha endüstriyel oksijen boru hattına yakın yerde konuşlandırılmış ise, oksijeni doğrudan bu boru hattından almak daha düşük maliyetlidir. Yerinde oksijen üretmenin iki temel tekniği vardır: sirojenik olarak veya bir absorber sistemi vasıtasıyla. Oksijen tesisi bazı işletmenlerin oksijen tesisinin tamamen sahipliğini almak zorunda kalacak olmasına rağmen genellikle tedarik edilen oksijen için harcama yapan işletmen tarafından işletilecek ve sahip olunacaktır. Yerinde oksijen tesisleri daima destek likit oksijen depolama ile birlikte sağlanır.

Oksijen havayı sıkıştırmak ve toz, su, karbon dioksit ve iz kirlenici maddelerinden arındırmak için bir arıtım ünitesinden geçirmek suretiyle üretilir. Arıtılan hava saha sonra soğutulur ve ayırma işleminin gerçekleşeceği düşük sıcaklıkta damıtma sütununa geçirilir. Ayrılan gazlar gazlı oksijen ve azot sağlamak amacıyla ısı eşanjörlerinde ısıtılabilir ve gerekli ise likit oksijen sistemin soğuk bölümlerinden alınabilir.

Emilim süreci genellikle iki biçimden birini alır: vakum sallama emilimi (VSA) veya basınç sallama emilimi (PSA). Bunların her ikisi de sirojenik olmayan sistemlerdir ve ayırma ortam sıcaklığına yakın sıcaklıklarda gerçekleşir. Teknik genellikle sirojenik sistemden çok daha ucuz olmakla birlikte sınırlı kapasitesi bulunup ort seviye oksijen talepleri için kullanılır. Bir veya iki cam fırınına besleyen çoğu saha bu tekniği seçecektir. Çoklu fırınlar veya yüksek O₂ talepli fırınlar için ise (örneğin yüzdürme cam) sirojenik sistem tercih edilebilir. Bu tercih yerel koşullardan etkilenebilecek ekonomik faktörlere bağlıdır.

Sıkıştırılmış hava nitrojenin çoğunu soğuran zeolit ile dolu bir veya iki absorber kanalının altına girer. Zeolit azot ile doyana kadar oksijen kanalın üstünden çekilir. Hava akışı daha sonra, ilk kanaldaki azot atmosfere tahliye edilirken ikinci kanala yönlendirilir. Vakum sisteminde azot vakumla atılır ve basınç sisteminde basınç altında havalandırılır. Vakum sistemi genellikle en yüksek verimlilikleri sağlar.

Kısmi oksi-yakıt ısıtma tekniği çok uzun yıllar cam imalatında kullanıla gelmiştir. İki farklı teknik test edilmiştir: ısı aktarımını geliştirmek üzere konvansiyonel hava-yakıt fırınına ilave O₂ enjeksiyonu olan oksijen lansing ve saf oksi-yakıt brülörünün ilavesi. Teknik, sıcaklık meyillerini artırmak ve dolayısıyla eriyiğin içerisindeki konvektif akımları güçlendirmek amacıyla çok sıcak alevlerin eriyik yüzeyine doğru yerleştirilmesiyle cam kalitesi ve fırın çekiş sorunlarını çözmek için kullanılır. Bu ayrıca aynı enerjiyi sisteme besleyen atık gaz akışını da azaltmıştır. Teknik sıklıkla rejenaratör sorunları veya bozulma belirtileri gösteriyor olan fırınların işletim ömrünü uzatmak için kullanılmıştır. Teknik bugünde aynı şekilde kullanımda olmakla birlikte yüksek sıcaklıklardan kaynaklanan potansiyel olarak artmış NO_x emisyon sorunlarından ötürü daha az yaygındır.

Çevresel Performans

Hava-yakıt ateşlemeli fırınlarına kıyasla NO_x emisyonları genellikle % 70 – 90 oranında azaltılır. Bu rakam açıkça mukayese noktasına bağlıdır ve % 95’den yüksek % 60’dan düşük olabilir. Fiber ve konteynır cam fırınları için bu normalde <1 kg/ton eriyik cama denk gelir. Özel camlar için (nitrat ilavesi olmaksızın) rakam 1 - 2 kg/ton erimiş cam olabilir [tm32 Beerrens]. En uygun düzeye getirilmiş fırın tasarımı ve işletimli en eski oksi-yakıt brülörü versiyonları bazı durumlarda emisyonları 0.3 - 0.8 kg NO_x/ton erimiş cam oranına düşürebilir. Düz camlardan kaynaklı emisyonlara yönelik hiçbir bilgi yoktur ancak 0.5 - 1.5 kg/ton erimiş cam oranında emisyon muhtemel sayılır.

Tüm kirlenici konsantrasyonları azaltılmış gaz hacmi nedeniyle fiilen daha yüksek olabilir. % 8 oranında oksijen düzeltmesi soğutma havasıyla seyreltmenin genellikle daha normal seviyelere yakın konsantrasyonlar getirmesine rağmen oksi-yakıt fırınlar için özellikle anlamlı değildir.

Oksi-yakıt ateşleme eriyik üzerindeki indirgenmiş gaz akışı ve bazı durumlarda indirgenmiş türbülans nedeniyle fırından kaynaklanan uçucu maddelerin (partiküller, floridler, kloridler vb.) toplam emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Soda-kireç fırınlarındaki partikül emisyonları, tüm uygulamalarda görülmemesine rağmen 0.2 - 0.3 kg/ton erimiş cam oranına düşürülebilir [tm18 CPIV]. Partikül emisyonları en etkili olarak boron ihtiva eden camlarda düşürülebilir (% 50’ye kadar). ABD’de oksi-yakıt eritme dönüşümüne yönelik motivasyon NO_x azaltımından ziyade çeşitli durumlarda partikül azaltımı olmuştur. Yakıt kullanımındaki azalma petrolle çalışan fırınlar için ayrıca daha düşük SO₂ emisyonlarına yol açacaktır ve enerji tasarrufu oranında CO₂ emisyonları da azalacaktır.

Mali Düşünceler

Oksi-yakıt eritme işleminin mali yönleri durumdan duruma ve farklı sektörler arasında büyük oranda değişiklik gösterebilir. Maliyetlerin kestirilmesi çok zordur ancak ipucu niteliğindeki bazı rakamlar Kısım 4.4.2.9'da verilmiştir. Maliyetleri etkileyen temel faktörler:

- En olası alternatif ile karşılaştırılan sermaye maliyeti.
- Erişilebilen enerji tasarrufları (fırın büyüklüğü ve tasarımına bağlıdır).
- O donanımına ilişkin hakim oksijen maliyeti.
- Kampanya uzunluğu üzerindeki potansiyel etki ve beraberinde gelen mali risk.

Sermaye maliyetinde önemli bir faktör de oksi-yakıt fırınlarının konvansiyonel yakma gaz ön ısıtma sistemine sahip olmamaları ve bu nedenle sermaye maliyetinin kıyaslanabilir çekiş hızlı reküperatif veya rejeneratif fırınlardan genellikle daha düşük olmasıdır. Bu, toplam ön ısıtma sistemi maliyetinin tasarruf edildiği durumlarda yeni tesisler için daha belirgindir. En ileri oksi-yakıt brülörleri ileri düşük NOx brülörlerinden genellikle daha pahalıdır ve oksijen kontrol sistemlerinin maliyeti oldukça önemlidir (0.3 - 0.45 milyon euro). Ancak, çoğu fırın için oksi-yakıt brülörlerinin ve kontrol sisteminin ilave maliyetleri ön ısıtıcı tasarrufundan önemli ölçüde daha düşüktür. Tekniğin refrakter ömrü üzerindeki etkisine yönelik kaygılar fırın tacı için daha pahalı materyallerin kullanılmasına yol açabilir. Gerekli ise bu ilave maliyet sermaye avantajını önemli ölçüde azaltabilir. Frit endüstrisinde ön ısıtma sistemleri daha az yaygındır ancak ilave sermaye maliyetleri önemli enerji tasarrufları ile iki yıl içinde genellikle geri ödenir [tm8 S23.03].

Rejeneratif fırınlar için, rejeneratör sistemlerinin tarihi bu konumda inşa edilmiş ilk fırına kadar uzanabilir ve bu fırınlar her fırın yeniden inşasında gerektiğinde onarılabilecek, yükseltilecek veya değiştirilecektir. Bu nedenle, önemli bir tasarruf olmasına rağmen, yeni bir fırındaki kadar büyük olmayabilir. Reküperatif fırınlarda, reküperatör genellikle her fırın yeniden inşası ile değiştirilir ancak destekleyici iskelet fırın tasarımı ve konumu büyük oranda aynı kalırsa yeniden kullanılabilir. Yeni tesislere yönelik sermaye tasarrufları reküperatif fırınlar için % 20; rejeneratif fırınlar içinse % 30 - 40 aralığındadır.

Tedarikçinin oksijen tesisini işletmesi halinde sermaye maliyeti genellikle oksijen yüküne ilave edilir ve ayrı olarak hesaba katılmaz. Oksijen tesisinin muhafazası genellikle cam şirketi tarafından sağlanır ancak maliyet oldukça düşüktür. Cam şirketi oksijen tesisini bağımsız olarak işletmeyi seçerse, sermaye maliyeti fırın maliyetinin % 10'una kadar çıkabilir [tm29 Infomil]. Oksijen üretiminden gelen azot yan ürünü kullanılabilir veya satılabilirse toplam maliyetlerin azalmasına yardımcı olabilir.

Cam Endüstri literatüründeki çeşitli belgelerde [örneğin, tm3 EPA, tm6 NOx Ind.duVerre] oksi-yakıt ateşleme maliyetinin SCR'ye eşit veya daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ancak bu nötr maliyet dönüşümlerini rapor eden bazı işletmenlerin uygulamalarında veya işletim maliyetlerine dair tasarruflara ilişkin bazı durumlarda hadise bu şekilde yansıtılmamaktadır. Olumlu sonuçların çoğu yüksek seviyede kısıtlı kullanmayan rejeneratif olmayan daha küçük fırınların dönüşümlerinden elde edilir.

Refrakter ömrüne ilişkin endişeler hariç olmak üzere çoğu uygulamada oksi-yakıt ateşlemenin düşük maliyetliliğine ilişkin belirleyici faktör enerji tasarrufları ile alternatif NOx azaltım tekniklerine maliyetleri ile kıyasla oksijen maliyetleri arasındaki fark olacaktır. Bu duruma özgüdür ve çoğu küçük fırınlar için denge faydalı olacaktır. Ancak daha büyük fırınlar için tasarruflar genellikle daha düşüktür ve mali denge daha çok özel koşullara bağlıdır ve diğer faktörler (özellikle yıllık bazda hesaplanmış sermaye maliyetleri) daha önemli olacaktır. Hakim enerji ve özellikle oksijen maliyetleri (her ikisi de varyasyona tabidir) de ayrıca önemlidir.

Uygulanabilirlik

Özellikle frit sektöründe % 100 oksijen yakıt eritme prensibi iyi tesis edilmiş olmasına rağmen bir bütün olarak cam sektöründeki kullanımı çeşitli faktörlerle kısıtlanmıştır. Teknik bazı cam endüstrisi sektörlerince potansiyel yüksek mali riskli gelişen bir teknoloji olarak kabul edilir. Ancak, kayda değer gelişme kaydedilmiş olup tesis sayıları ile işletim deneyimi artışı göstermektedir.

Genelde potansiyel faydaları azamiye çıkarmak ve beklenen sorunları engellemek için bir sonraki firmayla yeniden inşasına kadar tesisi ertelemek yararlıdır. Prensip olarak, oksijen-gaz brülörleri soğuk onarıma kadar beklenmeksizin çoğu süreçte tesis edilebilir. Sıcak kurulum enerji tasarrufuna ve artan çekim hızına imkan verebilir. Ancak, düşük NOx ile sonuçlanması ihtimal dahilinde değildir ve fiilen NOx seviyelerini arttırırken hızlandırılmış refrakter aşınması tehlikesi de mevcuttur.

Dünya cam üretiminin % 5 – 10'u oksijen yakıt eritme ile gerçekleştirilmiştir, ancak bu rakam sektörler arasında değişiklik gösterir. ABD'de çalışan sadece bir adet yüzdürme cam hattı mevcuttur. Avrupa'da [tm17 Ercole]'e göre cam konteynır üretiminin % 5.3'ü oksijen ateşleme ile üretilir. Fiberglas (cam yünü ve sürekli filament) ve özel cama yönelik rakamlar sırasıyla % 27.5 ve % 48.5'dir. Fransız oksijen üreticisi Air Liquide tarafından yapılan kestirimler oksijen yakıtla gerçekleştirilen toplam cam üretiminin % 25'i Avrupa'da, % 56'sı ise Kuzey Amerika'da üretilmiştir.

Aşağıdaki sektörlerde başarılı bir şekilde işletilen oksijen yakıt eriticilere yönelik çeşitli örnekler mevcuttur: konteynır cam, cam yünü, özel cam (özellikle TV camı), sürekli filament fiberglas ve frits [tm32 Beerkens]. İyi NOx azaltımı ile sonuçlanan evsel cam sektöründe çeşitli deneyler yürütülmüştür ancak ciddi köpürme ile ilgili sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu, bu örnekteki cam kalitesini etkilememiştir çünkü deney bu faktörlere daha az duyarlı olan cam bileşimi ile yapılmıştır. Evsel cam sektöründe karşılaşılan sorunlar örneğin konteynır cam gibi diğer uygulamalarda ilk karşılaşılanlara benzerdir. Benzer çözümlerin mümkün olması olasıdır ancak daha yüksek kalite gereksinimleri bunların uygulanmasını güçleştirmektedir. Dünya çapında evsel cam üretimine yönelik başarıyla işletilen teknik örnekleri mevcuttur. Örneğin:

Orrefors Kosta Boda, İsveç - < 5 ton /gün kristal cam
Verrerie de La Rochère, Fransa – 17 ton/gün soda-kireç
St George Crystal, ABD – 32 ton/gün kurşun kristal
Nachtman, Almanya – 9 ton/gün kurşun kristal

Düz Cam Sektöründe bilinen tek uygulama Ohio'daki Pilkington LOF'nin yakın geçmişteki dönüşümüdür. ABD'de başka bir yüzdürme tesisin dönüşüm için planlandığı da anlaşılmaktadır. Düz camda oksijen yakıt kullanımı ile ilgili temel sorunlardan biri de bu uygulamada teknik ve ekonomik olarak henüz tam olarak kanıtlanmış bir teknik olmamasıdır. Bu uygulamaya yönelik köklü teknik engeller bulunmamakla birlikte bir dizi ciddi rezervasyon da mevcuttur. Ana kaygı yüksek refrakter aşınması olasılığı ile azaltılmış kampanya süresi veya pahalı onarım ihtiyacıdır.

Sektör genellikle gerekli diğer NOx azaltım teknikleri mevcut olması halinde faydaların tekniği uygulamada ilk olma riskini makul görmediği görüşünü savunur. Tekniği potansiyel olarak daha düşük maliyetli kılan Pilkington LOF'da bir dizi sahaya özgü konu mevcuttur. Gelişmelerin güncel hali ve tekniğin nasıl uygulandığını bilme arzusu ile birleştirilen bu konular şirketin tekniği uygulama kararı vermesine yol açmıştır. Halihazırda hiçbir sonuç bulunmamaktadır.

İlgili Düşünceler

Bu tekniğe ilişkin en önemli konulardan biri de erişilebilecek potansiyel enerji tasarrufudur. Yukarıda değinildiği üzere bu, özel bir uygulamada tekniğin ekonomik geçerliliğindeki karar verici faktör olabilir. Tekniğin düşük maliyetliliğini değerlendirirken sadece değiştirdiği fırınlar ile değil ayrıca tüm elverişli seçenekler ve alternatif azaltım teknikleri ile karşılaştırılmalıdır.

Küçük termal verimsiz fırınlarda (örneğin frit fırınları) enerji tasarrufları % 50'den fazla olabilir. Herhangi bir özel enerji tasarruf tedbiri olmayan orta boy reküperatif fırınlara yönelik olarak standart izolasyon seviyeleri ile sadece dahili kırıntıların kullanılmasına yönelik olarak, oksî-yakıt eritme ile enerji kullanımı % 20 – 50 aralığında olacaktır. Ancak, optimize termal performanslı daha büyük enerji verimli rejeneratif fırınlara yönelik olarak tasarruflar daha düşüktür (% 5 - 15 - BOC plc) ve potansiyel olarak sifıra yakındır. Bu durumlarda, enerjideki tasarrufların enerji maliyetini telafi etmesi daha az olasıdır. Her bir durum tektir ve bireysel şartlara göre ele alınmalıdır.

Konvansiyonel fırınlar için enerji tasarruf tedbirleri (örneğin atık ısı buhar kazanları, daha yüksek seviyede izolasyon, yüksek verimli brülörler ve kırıntı ön ısıtma) oksî-yakıt fırınları için henüz geniş çapta uygulanmamıştır. Bu tekniklerle ilgili bazı deneyimler vardır ve yazılma zamanında atık ısı buhar kazanları ile donanımlı en az iki ve kırıntı ön ısıtma ile donanımlı en az bir fırın olduğu anlaşılmaktadır. Ancak tecrübeler arttıkça bu tedbirler daha fazla oksî yakıt ile birlikte kullanılacaktır. Bu tekniklerin çoğunun oksî-yakıt ateşleme ile neden kullanılmadığına ilişkin hiç teknik neden yoktur ancak değinilmesi gereken önemli teknik hususlar mevcuttur bunların halledilmesi zaman alacaktır.

Oksî-yakıt ateşlemenin ekonomisini geliştirebilecek önemli bir konu da atık gazların ısının geri kazanılmasıdır. Atık gazların yüksek sıcaklığı ısı geri kazanımı potansiyelini geliştirir ancak halen bir dizi sorun da mevcuttur. Atık gazlar azaltım ekipmanının işletim sıcaklığına erişmek için herhangi bir atık gaz arıtımı öncesinde soğutma gerektirir ve bunu temin etmek amacıyla uçucu maddelerden kaynaklanacak partikül maddeler yoğunlaştırılmıştır. Fırınlardan kaynaklı atık gazların yapısı yoğunlaşmış partiküller ve korozyon sorunları nedeniyle doğrudan ısı eşanjörlerinin kullanımını kısıtlar. Bu sorunlar oksî-yakıt ateşleme ile ilişkili yüksek atık gaz konsantrasyonları ile artırılır.

Potansiyel olarak, konteynır cam oksî-yakıt fırınlarının atık gazlarından gelen ısının geri kazanılmasının en ümit verici yolu harman ve kırıntı ön ısıtma sisteminin kullanılması olabilir (bakınız Kısım 4.8). İlk denemeler oksijen kaynağının ön ısıtılması ile gerçekleştirilmiştir. Oksî-yakıt fırınlardan ısı geri kazanımına ilişkin seçenekler [tm45 Illy]'de ele alınmaktadır. Bazı geliştirme işleri de ön ısıtma gazı ile oksijen kaynakları üzerinde yapılmıştır ancak bu tam anlamıyla geliştirilmemiş olup elverişli kabul edilemez.

Oksî-yakıt eritmenin toplam çevresel etkisi düşünüldüğünde, oksijen üretiminin çevresel etkisi üzerinde durulmalıdır. Bunun hesaplanması oldukça güçtür ve durumundan duruma büyük ölçüde değişiklik gösterir. Oksijen üretiminin çevresel etkisi temelde tüketilen elektrik üretimi ile ilişkili emisyonlarla ilgilidir. Bu, (diğerlerinin yanında) oksijen tüketimi, oksijen üretimi metodu, elektrik üretiminden kaynaklı ortalama emisyonlara yönelik ulusal istatistikler ve uygulamadaki enerji tasarruflarının kaynaklanabileceği özel durumlar hariç olmak üzere hemen hemen değerlendirilmesi imkansızdır. Ortalama olarak, VSA tarafından oksijen üretimi yaklaşık olarak 1.44 MJ/Nm³ [private communication BOC] tüketir.

Genelde oksi-yakıt eritmeden kaynaklı enerji tasarrufları oksijen üretimi maliyetlerinden daha önemli olursa indirgenen emisyonların oksijen üretimi ile ilişkili emisyonlardan önemli ölçüde daha ağır geleceği söylenebilir. İlave enerji geri kazanımı olmaksızın (atık ısı buhar kazanı veya kırıntı ön ısıtma) reküperatif fırınlarda oksijen üretimi de dahil ortalama enerji tasarrufu % 25 – 35; daha büyük rejeneratif fırınlarda ise % 5 - 15 olacaktır. Hayli verimli rejeneratif fırınlarda bu rakam % 5'den az olabilir. enerji gerektiren tüm azaltım tedbirleri ile birlikte sahada görülen çevresel faydalar küresel bakış açısı ile bakıldığında kısmen aşınır.

Oksi-yakıt eritme daha yüksek alev sıcaklıkları gerektirir ve NOx oluşumu için daha elverişli bir ortam yaratır. Ancak endüstri gaz ateşleme konusunda daha fazla deneyim biriktirdikçe ve fırın tasarımları değiştikçe NOx emisyonlarındaki fark ile iki yakıtı yönelik yakıt gereksinimleri de azalacaktır. Bazı uygulamalarda (örneğin; konteynır cam) fuel oil ateşleme ile sağlanan emisyon seviyelerine gittikçe daha fazla yaklaşan yakıt verimliliği ve NOx emisyonları uygun alev ayarlaması ile sağlanmıştır. Doğal gazın azot içeriği genelde önemsenmeyecek kadar düşüktür ancak NOx üzerinde müteakip bir neticeye sahip olup bölgeden bölgeye değişmektedir.

Teknikle ilişkili yüksek sıcaklıkların daha yüksek refrakter aşınmasına yol açacağı ve bu nedenle fırın ömrünü azaltacağına dair bir endişe vardır. Bazı durumlarda daha yüksek seviyede cam kusurlarına da neden olur. Azaltılmış kampanya süreleri yüzdürme cama gibi daha büyük fırınlarda önemli bir mali etkiye sahip olabilir. Günümüze kadar gelinen deneyimler zayıftan çok ümit vericiye kadar uygulamadan uygulamaya farklılık gösterir. Bu alanda çok fazla çalışma yapılmış ve sorun büyük ölçüde azaltılmıştır.

Yeni yüksek çıkarma brülör sistemleri ısıyı cama aktarmada çok daha etkilidir. Yüksek kaliteli refrakter materyallerinin kullanımı fırının sermaye maliyetine katkıda bulunabilir ve bu brülörler refrakterlerin termal direnç sınırları içinde çalışmalarına olanak sağlar. Soda-kireç camında suyun yüksek buhar basıncı yüksek NaOH buhar basınçlarına neden olabilir ve bu ise özellikle cam seviyesinin üzerinde refrakter aşınmasına katkıda bulunabilir.

Yazılma sırasında en eski oksi-yakıt fırınları on yıldan daha gençtir ve genelde büyük cam fırınlarında yetersiz deneyim olduğundan fırın ömrü üzerinde uzun süreli etkilerinin olup olmadığından emin olunamamaktadır. Ancak, teknik sürekli gelişim aşamasında olup en son teknikler kullanılarak tasarlanan fırınların ilk fırınlara göre daha fazla kampanya sürelerine sahip olması olasıdır. Bazı uygulamalarda, harmanla ilgili sorunlar rapor edilmiştir. Bu ise kalite sorunlarına neden olabilir ve ısıtma dengesi verimliliğini azaltabilir.

Cam yünü imalatında, fırındaki yüksek oksijen seviyeleri nitrat kullanımı olmaksızın organik materyal içeren atıkların geri dönüşümünü kolaylaştırır.

Oksi-yakıt ateşlemesi ile fırının atmosferindeki yüksek su buharı konsantrasyonu tekniğe yönelik önemli faydalara sebebiyet verebilir. [tm17 Ercole]'de eritme işlemi sırasında kimyasal emilimi en uygun düzeye getirecek bir yol bulunabilirse cam yapısında çok olumlu değişiklikler gerçekleşebilir. Su buharı ile tepkimeden kaynaklanan değişiklikler tüm sıcaklıklarda camın akışkanlığını azaltabilir ve alevden eriyiğe daha olumlu ısı iletimi ile sonuçlanabilir.

Örnek Donanımlar

Owens Corning Building Products (UK) Ltd, Cwmbran, Birleşik Krallık – Cam Yünü.
 Schott Glas, Mainz, Almanya – Özel Cam.
 Pilkington-LOF, Ohio, ABD – Yüzdürme Cam.
 Heye Glas, Moerdijk, Hollanda – Konteynir Cam.
 PPG Industries, Hoogezand, Hollanda – Sürekli Filamentler.
 James Kent Ltd, Stoke on Trent, Birleşik Krallık - Frit.
 Saint Gobain Desjonqueres, Mers, Fransa – Konteynir Cam.

Özet

Bu tekniği çevreleyen konuların karmaşıklığı nedeniyle sonuçlandırıcı bir özet yapmak yararlı sayılır.

Faydalar

- NOx emisyonlarında önemli azaltımlar sağlanabilir (% 70 - 90).
- Fırınlara yönelik sermaye maliyetleri genellikle önemli ölçüde düşüktür.
- Bazı uygulamalarda teknik nötr maliyetlidir veya tasarruflara olanak sağlayabilir.
- Bazı uygulamalarda özellikle de reküperatif fırının değiştirildiği hallerde enerji tüketiminde ciddi azaltma olasıdır.
- Potansiyel olarak düşük uçucu madde ve toz emisyonları.
- Atık gaz hacimleri düşürüldüğünde azaltım ekipmanına yönelik daha düşük sermaye maliyetlerine neden olabilir.
- Potansiyel olarak gelişmiş üretim/m2 ve gelişmiş süreç kontrolü.

Zararlar

- Ciddi enerji tasarrufları gerçekleştirilmezse teknik özellikle büyük soda-kireç fırınları için çok pahalı olabilir.
- Düşük maliyetlilik uygulamalar arasında büyük ölçüde farklılık gösterir ve bireysel olarak değerlendirilmelidir.
- Tamamen çözüme kavuşturulmamış bazı refrakter aşınma sorunları mevcuttur.
- Oksijen üretimi elektrik enerjisi gerektirir.
- Teknik NOx bileşimini azaltması açısından birincil tekniktir ancak harman nitratları gibi termal olmayan kaynaklardan NOx azaltımında etkisi yoktur.
- Teknik fırın yeniden inşasında en etkili olur.
- Oksijen depolama, üretim ve kullanımı özünde olan risklere sahip olup uygun emniyet değerlendirmeleri gereklidir.
- Oksijen üretimi kontrol edilmesi gereken gürültülere neden olabilir.

Tablo 4.8: Oksi-yakıt eritme işleminin ana fayda ve zararları

Oksi yakıtlı eritme NOx azaltımında çok etkili bir teknik olabilir ve düz cam ile belli bir ölçüde evsel cam kap sam dışı bırakılacak olursa tekniğin teknik olarak kanıtlanmış olduğu düşünülebilir. İlke olarak oksi-yakıtlı eritme tekniğinin Cam Endüstrisine bir bütün olarak uygulanabilir olduğu kabul edilebilir ancak bazı uygulama problemlerinin de göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Tekniğin fırında kullanılan ateşe dayanıklı malzemelerin kullanım ömrü üzerindeki etkisiyle ilgili halen daha cevap bulmamış önemli sorular bulunmaktadır. Bu soruna çeşitli çözümler bulunacak gibi görünmekle birlikte uzun vadeli etkilerin güvenle kanıtlanabilmesi biraz zaman alacaktır. Bu gerçekleşene kadar teknikle ilgili belli ölçüde bir mali risk bulunacaktır.

Tekniğin ekonomik olarak rekabet edebilirliği esas olarak enerji tasarrufu potansiyeline ve teknikle karşılaştırılabilir düzeyde NOx emisyon azaltımı sağlayan alternatif tekniklerin göreceli maliyetlerine bağlıdır. Küçük ile orta ölçek arasında fırın büyüklüğü gerektiren çoğu uygulamada önemli enerji tasarrufu sağlanabilmektedir ki bu da tekniği ekonomik olarak daha rekabet edebilir hale getirmektedir.

Gerçekten de bazı uygulamalarda (özellikle günlük kapasitesi 50 tonun altında olan fırınlarda) enerji tasarrufu tek başına tekniğin uygulamaya konulmasını cazip hale getirebilecek kadar önemli bir faktör haline gelebilmektedir. Daha büyük boyuttaki fırınlar doğaları gereği daha fazla enerji-etkin olmaya eğilimlidir ve bunlarda potansiyel enerji tüketimini azaltma kapasitesi daha azdır. Bu da tekniğin toplam maliyetini artırıcı bir etkidir. Bir dizi uygulamada sağlanan tasarruf tekniğin maliyetlerini karşılamaktan uzaktır ve bu yüzden teknik bu uygulamalarda NOx emisyonu azaltımında en maliyet etkin çözümü temsil etmekten uzaktır.

Diğer NOx azaltma tekniklerinin performansında meydana gelen gelişmeler (özellikle birincil teknikler ve 3R) fırın enerji verimliliği ile bir araya geldiğinde oksijen yakıtlı eritme tekniğinin rekabet edebilirliğini zaafa uğratmaktadır. Yine de bu gelişmelerin o denli büyük olmadığı veya diğer faktörlerin bu gelişmelerin uygulama imkanını kısıtladığı (örneğin cam yünü ve özel cam) durumlarda oksijen yakıtlı eritme tekniği halen daha çok cazip bir teknik olmaya devam etmektedir.

Oksijen yakıtlı eritme tekniğinin görece avantajları olay bazında büyük değişiklikler göstermektedir ve bu tekniğin uygulanması veya uygulanmaması yönündeki karar büyük ölçüde bu faktörlere bağlı olabilir. Örneğin, fırın büyüklüğünü artırmadan çekme oranının artırılması gerekiyorsa veya tesis ucuz bir oksijen kaynağının yakınına kuruluysa bu durum söz konusudur. Tekniğin ekonomik rekabet edebilirliği bir ölçüye kadar tesis sahasına özgü faktörlerden de etkilenir. Burada her olay kendi özel koşulları bağlamında değerlendirilmelidir.

Oksijen gaz ateşleme tekniğinin performansını daha ileriye taşıyan gelişmeler sürekli olarak devam etmekte ve oksijen şirketleri tesis sahasında oksijen üretiminin maliyetlerini azaltma yönündeki geliştirme çalışmalarını sürdürmektedir.

Oksijen yakıtlı eritme tekniği etkili NOx azaltma tedbirlerini bir araya getiren bir uygulama olarak düşünülmelidir. Bu tedbirler ise en uygun yaklaşımı temsil edebilecek tesis sahasına özgü konulara bağlıdır. Bununla birlikte teknik Cam Endüstrisindeki MET yaklaşımını temsil eden emisyon seviyelerinin belirlenmesinde başvuru yardımcı tekniklerden biri olduğu da kabul edilmelidir.

4.4.2.6 Yakıt ile Kimyasal Azaltım (CRF)

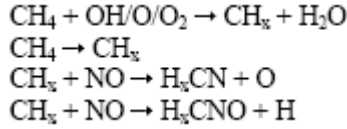
Yakıtlı kimyasal azaltım yakıtın atık gaz akışına bir dizi tepkime yoluyla NOx'i kimyasal yollarla azaltmak için eklendiği teknikleri açıklar. Yakıt yanmaz ancak radikal oluşturmak üzere diğer gaz bileşikleriyle tepkimeye geçebilir. Cam Endüstrisinde kullanmak üzere geliştirilmiş iki ana teknik 3R süreci ile Yeniden yakma sürecidir. Bu tekniklerin her ikisi de hali hazırda rejeneratif fırınlarla sınırlıdır. 3R prosesi endüstride uygulanmak üzere tam olarak geliştirilmiş olup bu metnin yazıldığı tarih itibarıyla Yeniden Yakma prosesi tam ölçekli geliştirme denemelerinin ikinci safhasında bulunmaktaydı. Söz konusu safha prosenin faydalarını kanıtlar nitelikte sonuçlar vermiştir.

4.4.2.6.1 3R Süreci

Tekniğin Açıklanması

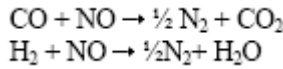
3R sürecinin temeli rejeneratör girişinde atık akışına kontrollü bir şekilde hidrokarbon yakıtı (örneğin; doğal gaz veya petrol) eklenmesidir. Bu yakıt fırında oluşan NOx'i yakmaz ancak kimyasal yollarla çözer ve azaltır. Teknoloji rejeneratif fırınlarda kullanılmak üzere tasarlanmaktadır. Bu fırınlarda rejeneratör gerçekleşecek tepkimeler için gerekli sıcaklık, türbülans karışımı ve kalıntı süresi koşullarını sağlamaktadır. Proses adı olarak kullanılan "3R" ise Rejeneratörlerde Tepkime ve Azaltma (ing. Reaction and Reduction in Regenerators) ifadesinin kısaltmasıdır.

3R prosesinde iki ana aşama söz konusudur: deNOx (Nox'ten arındırma) ve yakma. deNOx aşamasında iki temel mekanizma bulunmaktadır. Bunlardan ilki 3R yakıt radikalleri ile NO arasındaki tepkimedir. Radikaller (CHx) esasen yakıtın rejeneratöre girmesiyle birlikte hızla meydana gelen ısı bozunma (piroliz) yoluyla ortaya çıkarlar. Bu aşamada oluşan ana tepkimeler:

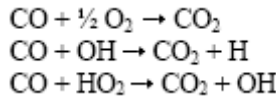


Bu tepkimeler çok hızlıdır ve genelde üst rejeneratör odasında gerçekleşir. NOx azaltımının yaklaşık %25'ine karşılık gelirler.

İkinci mekanizma atık gazların rejeneratör kontrol aşamasından geçmesiyle gerçekleşir. Atık gazların buradaki kalış süresi görece yüksektir. Birincil ve 3R yakıtlardan meydana gele CO ve H2 emisyonları kalan NO ve N2 emisyonlarının büyük kısmını azaltmak için yeterince yüksek bir sıcaklıkta yeterli süreye sahiptir. Bu tepkime rejeneratör sistemi boyunca devam eder ancak ağırlıklı olarak kontrol noktasında gerçekleşir ve NOx azaltımının büyük çoğunluğu da 3R tarafından gerçekleştirilir. Ana tepkimeler:



Prosesin ikinci aşaması azaltılan türlerin, esas olarak da tepkimeye girmemiş CO ve H2'nin yakılmasından meydana gelir. Bu türler rejeneratör altındaki baca gazlarına doğru kontrollü olarak gönderilen hava ile okside edilir. Ana tepkimeler şu şekildedir:



Çevresel Performans

3R prosesiyle sağlanan NOx azaltımının seviyesi esas olarak takviye edilen ekstra yakıtın miktarına bağlıdır ve çeşitli emisyon standartlarını karşılayacak şekilde önceden düzenlenebilir. Teknik %8 kuru O2 hacminde 500 mg/Nm³ 'ten düşük yoğunluk seviyesine ulaşabilmekte, bazı uygulamalarda bu rakamlar 400 mg/Nm³ 'e kadar çekilebilmektedir. Bu miktar uygulamaya bağlı olarak 1,0 - 1,5 kg/ton eriyik cama eşittir ve toplam NOx azaltımı da %70-85 aralığındadır.

Mali Düşünceler

Sermaye maliyetleri 300000 euroya kadar zikredilir ancak genellikle bundan önemli ölçüde düşüktür. En iyileştirilmiş eritme koşullarında 500 mg/Nm³ emisyon seviyesini yakalayan bir tesisin işletme maliyetleri bir ton eriyik cam için 1,5 – 2,0 Euro civarındadır. Bunun ana nedeni yakıt gereksinimidir ve her bir ton Nox azaltımı için yaklaşık 350 Euro'ya tekabül etmektedir. Bu maliyetlere teknoloji lisans maliyetleri de eklenmelidir. Lisans ücreti hayli karmaşıktır ancak alınan lisansın geçerlilik süresi dikkate alındığında maliyeti her bir ton eriyik camda yaklaşık 0,5 Euro'ya tekabül etmektedir.

Uygulanabilirlik

Tekniğin hali hazırda yalnızca rejeneratif fırınlar için uygun olduğu kabul edilmekle birlikte yeni ve mevcut tüm tesislerde ister petrol ister doğal gazla çalışan tüm fırınlarda kullanılabilir. Hali hazırda bu tekniği kullanmakta olan yedi fırın bulunmaktadır ve çok daha fazla sayıda cam tesisi de tekniği kullanmak için lisans başvurusunda bulunmuştur. Tekniğin çok daha yaygın bir şekilde kullanılmamasının ana nedeni birincil azaltma yöntemlerini kullanan mevcut tesislerdeki NOx emisyonlarının genel olarak geçerli yasal sınırları karşılamakta olmasıdır.

Rejeneratörlerde oluşturulan atmosferi azaltmanın özellikle daha yüksek sıcaklıklar da söz konusu ise bazı ateşe dayanıklı malzeme tiplerine zarar vereceği yönünde bir kaygı vardır. Tekniğe ilişkin deneyimlerin büyük kısmı rejeneratörlerde yüksek kaliteli ateşe dayanıklı malzeme kullanılması eğiliminin bulunduğu yüzdürme cam fırınlarında gerçekleştirilen uygulamalarda kazanılmıştır. Ateşe dayanıklı malzemelerin hasar görme olasılığı düşük kaliteli (yani Ca, Fe ve Cr ihtiva eden) ateşe dayanıklı malzemelerde çok daha yüksektir. Bunlar ise bazı konteynır cam tesislerinde kullanılmaktadır. Bu durum tamamen olaya özgü olmakla birlikte mevcut refraktörlerin (ateşe dayanıklı malzeme) daha yüksek ısı ve kimyasal dirence sahip malzemelerle değiştirilmesi önemli maliyetleri de beraberinde getirmektedir. Tekniğin geliştiricileri pek çok durumda rejeneratör onarımının gerekli olmayacağını öngörmektedir. Bölüm 4.4.2.9 rejeneratör onarımının gerekli olduğu ve olmadığı benzer aralıkların sınır değerlerindeki maliyetleri göstermektedir.

İlgili Düşünceler

3R ile ilgili ana çekinceler zorunlu NOx azaltma hedeflerine ulaşmak için hidrokarbon yakıtlarını kullanmanın ek bir maliyet getirmesi ve ayrıca CO2 emisyonlarında artışa eden olmasıdır. Bunun anlamı 3R yakıt gereksinimlerini azaltmak için 3R prosesini daha konvansiyonel birincil NOx azaltma tedbirleri ile bir arada uygulamanın daha cazip olduğudur.

Eğer bir atık ısı kazanı kurulursa 3R yakıtındaki enerjinin büyük kısmı geri kazanılabilecek ve toplam CO2 emisyonu en alt düzeye çekilebilecektir. 3R kullanımı atık ısı kazanının genel olarak maliyet etkin olacağı anlamına gelmek zorunda değildir; ancak hali hazırda kurulu bir atık ısı kazanı bulunan (veya kurulması planlanan) yerlerde 3R prosesi kazandan faydalanılabilecek fırın yük aralığında elde edilecek faydada artış sağlar. Genel olarak bakıldığında bu durum tesis sahasının enerji gereksiniminde önemli miktarda tasarruf edilmesini sağlayacak, diğer enerji kaynaklarının (örneğin fosil yakıt kazanları) kullanımı da büyük ölçüde düşecektir. Spesifik uygulamaya bağlı olarak bu enerji tasarrufu 3R prosesi sayesinde maliyetlerde önemli miktarda tasarruf edilebileceği anlamına gelmektedir (bir örnek vermek gerekirse [tm39 3R-güncellemesi] yılda yaklaşık 600.000 Euro civarında tasarruf sağlar).

Tesiste atık geri kazanımı uygulaması yokken ihtiyaç duyulan ekstra yakıt genellikle eritme enerjisinin %7'si civarındadır. Bu durum her bir ton erimiş camda 20 ila 30 kg veya her bir ton NOx azaltımında 4 ila 6 ton CO2 emisyonu artışına neden olacaktır. Uygulamada istenilen NOx azaltımının elde edilmesi için ihtiyaç duyulan kesin yakıt miktarı fırının spesifik koşullarına bağlı olarak değişiklik arz edebilecektir. Örneğin fırında oksitlenme koşullarına gerek duyuluyorsa yakıt kullanımı daha fazla azaltım koşullarının bulunduğu durumdan daha yüksek olacaktır.

3R prosesi görece basitliği nedeniyle kimi zaman birincil bir teknik olarak düşünülmeyle birlikte yalnızca ısı NOx'i değil, aynı zamanda söz gelimi hammaddeler gibi diğer kaynaklardan gelen NOx'i de azalttığı SCR ve SNCR gibi ikincil tekniklerle önemli benzerlikler içindedir.

Faydalar

- Ciddi NOx azaltımları sağlanabilir.
- Çoğu rejeneratif fırın tipine uygulanabilir.
- Tesis tasarımı veya işletimine yönelik ana değişiklik yoktur.
- Fırın kapatma ihtiyacı olmaksızın uygulanabilir.
- Kimyasal ayıraç gerekmez.
- Arttırılmış yakıt kullanımı bazı durumlarda atık ısı geri kazanımı ile telafi edilebilir.
- Kanıtlanmış ve elverişli teknik olarak kabul edilebilir.
- Tüm kaynaklardan NOx azaltır.

Zararlar

- Arttırılmış yakıt kullanımı (genellikle 7 %, ancak atık ısı geri kazanımı ile azaltılabilir).
- Arttırılmış CO2 emisyonları (20 - 30 kg/t erimiş cam, ancak atık ısı geri kazanımı ile azaltılabilir).
- Bazı uygulamalarda rejeneratör refrakter materyali üzerindeki etkisine yönelik endişe.
- Rejeneratif olmayan fırınlara uygulanamaz.

Tablo 4.9: 3R Sürecinin ana fayda ve zararları

Örnek Donanımlar

Pilkington UK Ltd, Greengate Works, St Helens, İngiltere.

Flachglas AG, Weiherhammer, Bavaria, Almanya.

Flachglas AG, Gladbeck, Nordrhein-Westphalia, Almanya.

Pilkington Finlandiya

Pilkington LOF, Ohio, Kaliforniya

Samsung Corning, Kore

(TV camı olan Samsung Corning hariç tüm Yüzdürme Cam Donanımları)

4.4.2.6.2 Yeniden Yakma

[tm53 Gas Reburning], [tm54 Gas Reburning2], [tm55 Field Test], and [tm56 GazdeFrance]

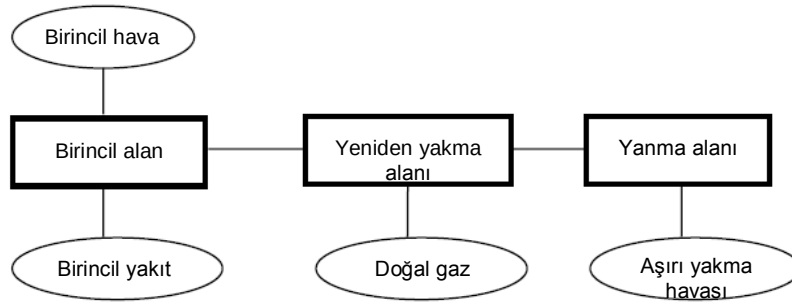
Tekniğin Açıklanması

Yeniden yakma prosesi yakıtın azaltıcı bir madde olarak kullanılması yoluyla yanma ürünlerindeki NO_x'in giderilmesini amaçlayan bir yanma modifikasyonu teknolojisidir. Teknik hemen hemen bütün sürekli emisyon kaynaklarından ileri gelen emisyonların kontrolünde kullanılabilir ve genellikle doğal gaz kullanılmasına rağmen yakıtı özgü bir teknik değildir.

Teknik ilk olarak 1980'li yılların başlarında büyük kazan tesislerinde uygulanmış olup pirolize edilmiş CH yakıt radikallerinin NO türlerini bir dizi tepkime yoluyla N₂'ye düşüreceği prensibine dayanmaktadır. Yeniden yakma teknolojisinin yararlılığı şebeke kazanlarında başarıyla kanıtlanmış olup ortalama maliyette azaltım yapılan her bir ton NO_x için %50 ila 60 civarında giderim verimliliği sağlanmaktadır.

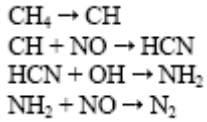
Elde edilen bu giderim verimlilikleri yeniden yakma tekniğinin Cam Endüstrisinde kullanımı konusunun düşünülmesine yol açmaktadır. Cam fırınları sahip oldukları ergitme sonrası oyuklar (fırın baca boruları ve rejeneratör tacı) ve sıcak yanma gazları ve yüksek başlangıç NO_x yoğunlukları gibi özellikleri nedeniyle yeniden yakma sisteminin başarılı kurulumu için iyi birer aday olarak görünmektedirler.

Prosesin şematik açıklaması aşağıdaki şekilde görülmektedir. Yeniden yakma prosesi kavramsal olarak üç bölgeye ayrılabilir: birincil bölge, yeniden yakma bölgesi ve yanma-bitiş bölgesi. Birincil bölgede yakıt ve hava normal veya azaltılmış birincil yakıt stokiyometrisindeki fırın üzerinde mevcut brülörler aracılığıyla yakılır. Bölgeyi terk eden NO_x seviyesi yeniden yakma prosesinin girdisidir. Yeniden yakma bölgesinde yeniden yakma yakıtı birincil bölgenin işlem sonrasında yakıt bakımından zengin bir NO_x azaltma bölgesi oluşturmak üzere enjekte edilir. İhtiyaç duyulan yakıt miktarı birincil stokiyometriye bağlı olarak birincil yakıtın yüzde 5 ila 10'u arasındadır. Genel fakir yakıt koşullarını meydana getirmek ve yanmamış tüm türleri okside etmek için yanma-bitiş bölgesi havası ilave edilir.



Şekil 4.1: Yeniden Yakma Sürecinin Genel Görünümü

Yakıt bakımından zengin yeniden yakma bölgesindeki doğal gazdan kaynaklanan hidrokarbon radikalleri, birincil olarak da CH türleri birincil bölgede meydana gelen NO ile tepkimeye girerek HCN ve NH₃ gibi diğer azot türlerini meydana getirirler. Bu türler bir kez meydana geldikten sonra hızla diğer birincil NO molekülleri ile tepkimeye girerek moleküler azot (N₂) ortaya çıkarırlar. Yeniden yakma yakıtının yanma gazlarıyla karışmasına ve tepkimeye girmesine izin verdikten sonra yeniden yakma yakıtının tamamıyla yanmasını sağlamak için yanma-bitiş havası enjekte edilir. Prosesten geriye kalan düşürülmüş azot türleri yanma-bitiş bölgesinde tümüyle moleküler azota (N₂) dönüştürülür veya NO formuna geri çevrilir. Yüksek yanma gazı sıcaklıkları ve yüksek birincil NO_x konsantrasyonlarının yeniden yakma işlemi ile ulaşılabilir NO_x düşürümünü geliştirdiği gösterilmiştir. Eğer yeniden yakma işlemi yaklaşık olarak eş-ısı (izotermik) koşullar altında ve yaklaşık 0,5 saniye kalış süresi içinde gerçekleştirilebilirse teorik olarak önemli ölçüde NO_x düşürümü elde edilebilir. Temel tepkime yolu aşağıda özetlenmektedir.



Cam fırınlarındaki yeniden yakma işlemi uygulaması için ergime sıcaklığı üzerindeki ısı dağılımı üzerindeki etkileri minimize etmek amacıyla yeniden yakma yakıtının eriticinin arka ucundan veya hemen eritme işlemi sonrasında enjekte edileceği beklenmektedir. Yeniden yakma yakıtı enjeksiyon noktası ile ısı geri kazanım cihazı arasındaki (rejeneratör veya reküperatör) gaz kalış süresinin yeterince uzun olduğu cam fırınları için yanma-bitiş havası ısı geri kazanım cihazından hemen önce enjekte edilecektir.

Çevresel Performans

Bu teknoloji 1996 yılında Antioch (Birleşik Devletler, Kaliforniya) 350 t/gün konteynır cam fırınında uygulanmıştır. NOx kontrolüne ilişkin onaylanmayı bekleyen yönetmelikler göz önünde bulundurularak azaltma hedefi yaklaşık %50 olarak belirlenmiştir (her bir ton cam için 2,5 kg NOx). Sınır noktasında NOx emisyonları %8'lik O2 altında yaklaşık 3500 mg/Nm³ civarındadır ve bu seviye birincil havanın miktarı düşürülerek 2500 mg/Nm³ civarına düşürülebilmektedir. Birincil ısı girdisine göre %5'lik doğal gaz kullanıldıktan sonra 1800 mg/Nm³ seviyesine ulaşılmış ve yeniden yakma gazı %9'a yükselterek NOx emisyonları 1000 mg/Nm³ seviyesine düşürülmüştür. Baca gazı sıcaklığının 40°C yükselerek 80°C'ye çıkması ön ısıtmadan geçirilen hava sıcaklığının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle enerjinin üçte ikisi yakıt tüketimi %3 artırılarak %9'luk doğal gaz kullanımıyla geri kazanılmıştır.

Yöntemin bir başka uygulamalı kanıtı Fransa'daki Glaverbel tesisinde bir fırında hali hazırda gerçekleştirilme aşamasındadır. Tekniğin ana amacı NOx emisyonlarının %50 oranında azaltmak veya 500mg/Nm³ emisyon seviyesine ulaşmaktır. Bu hedefe ulaşmak için izlenen strateji en yüksek seviyede NOx emisyonuna sebep olan ve bu nedenle de arıtımı en kolay olan portlara odaklanmaktır. Uygulanan konfigürasyona bağlı olarak en azından %50 oranında bir enerji geri kazanımının sağlanacağı beklenmektedir. Bu nedenle ilave yakıt tüketimi yaklaşık %4 ile sınırlanmalıdır.

Mali Düşünceler

Yeniden yakma sürecine yönelik sermaye maliyetleri 500 t/gün düz cam fırını için 800000 euro; 250 t/gün konteynır cam fırını için 500000 euro ve 125 t/day fiberglas fırını için 320000 euro olarak hesaplanmıştır. İşletim maliyetleri port sayısı, kullanılan gaz miktarı ve geri kazanılan ısı yüzdesine bağlıdır. Bu maliyetler 0.5 ile 1.5 euro/ton cam arasındadır.

Uygulanabilirlik

Bu teknik hem mevcut hem de yeni fırınlara uygulanabilir. Bununla birlikte bu metnin yazıldığı tarih itibarıyla tekniğin tam ölçekli olarak uzun dönemli kullanımına herhangi bir örnek bulunmamakta ve bu bakımdan halen daha gelişme aşamasında bir teknik olarak kabul görmektedir. Yeniden yakma tekniği bu tekniğin kurulması için gerekli modifikasyonlar minimum düzeyde olduğu için tadilat uygulamaları için uygundur. Bir fırının yeniden inşası sırasında yeniden yakma uygulamasına başvurulması fırının ısı performansındaki etkilerin minimize edilmesi ve NOx emisyonlarının yükselmesi potansiyelini taşımaktadır. Örneğin rejeneratörler yeniden yakma işlemine sokulan yakıttaki ısıyı önemli ölçüde geri kazanmak ve gelişkin bir gaz yeniden-yakma kavramını uygulamaya sokmak amacıyla yeniden tasarlanabilir. Yeniden yakma teknolojisi genel olarak birincil NOx kontrol teknolojilerinden sonra uygulanır ve NOx emisyon azaltımında %70'lere kadar artış sağlayabilir.

İlgili Düşünceler

Yeniden yakma tekniğinin birincil tasarım kriteri yeniden yanma bölgesinde yeniden yakma işlemi için optimum stokiyometri seviyesi olan 0,9'a ulaşmaktır. Cam fırını uygulamaları için yeniden yakma yakıtının sisteme eritme işlemi sonrasında eklendiği ve böylece yeniden yakma işleminin eriyik üzerindeki olası etkilerinin minimize edilmesinin amaçlandığı varsayılmaktadır.

Gerçek bir uygulamada yeniden yakma yakıtının eritme bölgesinin sonuna enjekte edilmesi mümkün olabilir ancak bu olasılığın spesifik çalışma sahası koşulları doğrultusunda değerlendirilmesi gerekmektedir. Eğer ilave edilen ısı girdisi rejeneratörlerde tamamıyla geri kazanılmıyorsa yeniden yanan yakıtın eritme işlemi sonrası enjeksiyonu toplam fırın verimliliğini düşürebilir. Bu nedenle enjekte edilen yeniden yanmış yakıtın miktarını ve bunun fırın verimliliği üzerindeki olumsuz etkisini en alt seviyeye çekmek için birincil stokiyometrinin minimize edilmesine ihtiyaç vardır (1.01 ila 1.05 arasında). Bu seviyeler çoğu cam fırınında erişilebilir seviyeler olmakla birlikte bunun için eritme ateşi oran ve dağılımı işleminin bir miktar optimizasyona ihtiyacı vardır. Eritici stokiyometrisi üzerinde eritme işlemini ve cam kalitesini herhangi bir şekilde etkilemeden değişiklik yapmanın imkansız olduğu fırınlarda yeniden yanmış yakıtın içerdiği enerjinin bir kısmı rejeneratör tarafından soğurulacak ve bu da daha yüksek hava ön-ısı sıcaklıklarına neden olacaktır. Düşük birincil yakıt tüketimi düşük hava akımına ve dolayısıyla yeniden yanmış yakıt miktarının ve ateş üstü hava gereksiniminin azalmasına yol açacaktır. Böylece, yeniden yanmış malzeme dengesinin belirlenmesi tekrarlı bir hesaplama değildir.

Yeniden yanmış yakıtın fırın işlemi sonrası enjeksiyonu rejeneratörlerdeki baca gazı sıcaklığını uygulanan konfigürasyona bağlı olarak yaklaşık 50°C artırarak 100°C'ye yükseltir. Sonuç olarak ön-ısıtmadan geçirilen havanın sıcaklığı yükselerek yeniden yakma işlemi için kullanılan enerjinin bir kısmının geri kazanılmasına izin verir. Rejeneratörlerdeki sıcaklık artışını sınırlandırmak için ateş üstü hava miktarı kontrol altında tutulur. Geri kazanılan enerji miktarı yeniden yakma işlemi için kullanılan gazın ve enjekte edilen ateş üstü havanın miktarına bağlıdır. Yeniden yakma işlemi için kullanılan enerji yaklaşık üçte iki oranına kadar geri kazanılabilmektedir.

Örnek Donanımlar

Glaverbel, Fransa – Yüzdürme Cam

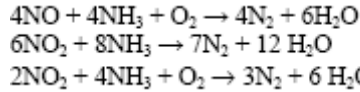
4.4.2.7 Selektif Katalitik Azaltma (SCR)

Tekniğin Açıklanması

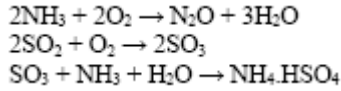
SCR uygun bir sıcaklıkta katalitik yatakta NO_x ile amonyak tepkimesini kapsar. Her biri bir diğerinden biraz farklı sıcaklık aralığında çalışmakta olan birkaç tane katalizör bulunmaktadır. En yaygın katalizörler metalik veya seramik bir substrata yedirilmiş olarak bulunan vanadyum ve titanyum oksitlerdir (genellikle TiO₂ ve V₂O₅). Tepkimenin mikroskobik gözenekli bir yapı içinde gerçekleştiği zeolit moleküler elekler de kullanılabilir. Zeolitlerin performansı yapıya platin veya paladyum benzeri metaller ilave edilerek optimize edilebilir. Hangi katalizör kullanılıyor olursa olsun genellikle 200 ila 500°C, optimum değer olarak ise 300°C ila 450°C aralığında olması gereken doğru işletme sıcaklığının idame ettirilmesi çok büyük önem taşımaktadır.

Bazı endüstri kollarında granül veya plaka biçimli olanları da kullanılmakla birlikte Cam Endüstrisinde kullanılan katalizör üniteleri modüler petek biçimli yapılardır. Kullanılan birimin ebadı artırılmakta olan atık gazın hacmine ve amaçlanan NO_x azaltım seviyesine bağlıdır. Modüler yapı bölümlerin istenildiği şekilde ve kolayca değiştirilmesine veya istenildiğinde daha fazla katalizör ilave edilebilmesine izin vermektedir. Katalizörün kullanım ömrü çok sayıda faktöre bağlı olmakla birlikte bunlar arasında en önemlileri atık gazın bileşimi ve tesis tasarımıdır. Çoğu katalizör tedarikçisi firma üç yıl veya daha fazla garanti vermekte ve endüstri uygulamalarının büyük kısmında katalizörün faaliyetinde önemli ölçüde bir azalma veya bozulma olmaksızın 5 ila 6 yıl kullanılabileceği öngörülmektedir. Yöntemin cam endüstrisindeki ilk uygulamalarında 3 yılın sonunda faaliyetin önemli ölçüde zayıflamasına neden olan katalizör sorunları tecrübe edilmiştir.

Sistemler normal olarak % 75 ila 95 NO_x azaltım hedefine ulaşabilecek şekilde tasarlanmaktadır. Teorik olarak NO_x azaltım verimliliği NH₃ : NO_x oranıyla yükselir ancak amonyak bozunmasını minimize etmek için bu oran genellikle 1.1 : 1 oranının altında tutulmaktadır. NO_x aşağıda verilen genel tepkimeler uyarınca NH₃ ile tepkimeye girer. Bu tepkimeler normal olarak 950°C (SNCR) civarında gerçekleşir ancak katalizörün varlığı gaz fazından NO ile tepkimeye giren NH₃ 'ün soğurulması yoluyla sıcaklığı düşürür. Amonyak sisteme katalizör uygulamasından önce ve sıvı NH₃ ya da sulu çözelti olarak enjekte edilir; bazı uygulamalarda üre kullanılmıştır ancak bu Cam Endüstrisinde tercih edilen bir yöntem değildir.



Bazı istenmeyen tepkimeler de gerçekleşebilir



SCR ile N_2O üretimi çok düşük seviyededir ve genellikle herhangi bir problem teşkil etmez. SO_3 oluşumu ve izleyen amonyum bisülfat (NH_4HSO_4) üreten tepkime özellikle yüksek sülfür oranına sahip yakıtlar kullanıldığında sorun yaratabilir. Amonyum bisülfat katalizörü zehirleyerek ekipmanın kirlenmesi ve aşınmasına sebep olabilir. Alkali metal (MgO , CaO , Na_2O , K_2O) veya ağır metal içeren bazı tozlar da katalizör zehri olarak faaliyet gösterebilir.

Yüksek derecede tozlu sistemler bulunmakla birlikte cam proseslerinde toz giderici birimin SCR biriminden önce kurulması gerekmektedir. Bu birim toz hacmini 10 - 15 mg/m^3 'e kadar düşürmelidir. Birim hemen her zaman (2 veya 3 aşamalı) bir elektrostatik çökticidir. Torba filtrelerin düşük işletme sıcaklıkları atık gazın katalizörün tepkime sıcaklığına kadar yeniden ısıtılmasını gerektirir. Bu da işletme maliyetlerini önemli ölçüde yükseltecek bir işlem olduğundan genellikle karşılanamayacak ölçüde pahalı bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Ayrıca kalan ince tozların yol açacağı tıkanma ve körleşmeleri önlemek için havanın katalizör yatağı içinden (her iki saatte bir) üflenmesi de gerekmektedir. Elektrostatik Çökticilerin kullanılması bir çok durumda Elektrostatik Çöktirme işleminden önce gelecek şekilde bir asit gazı temizleme sisteminin kurulması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu metnin yazıldığı tarihte Cam Endüstrisinde ağır fuel-oil ateşlemesi ve SCR ile ilgili herhangi bir uygulama örneği bulunmamaktadır ve tekniğin uygun olup olmadığını belirlemek için daha fazla geliştirme çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çevresel Performans

Ulaşılan NO_x emisyon seviyeleri esas olarak katalizörün giriş konsantrasyonuna ve miktarına, ayrıca kullanılan amonyak miktarına bağlı olacaktır. Amonyak seviyesi olası amonyak bozunmalarını sınırlandırmak için genelde 1.1 : 1 oranının altında tutulur. Genelde çoğu uygulamada %70 ila 95 oranında NO_x azaltımı sağlanmaktadır. Cam Endüstrisindeki, örneğin özel cam gibi bazı uygulamalar yüksek derecede azaltılmamış NO_x emisyonuna sahiptir ($>4000\text{ mg/m}^3$) ve %90'lık bir emisyon azaltımı 500 mg/m^3 seviyesinin altında bir yoğunluğa sebep olacaktır. Teoride yeterli miktarda katalizörün bulunduğu varsayıldığında çok düşük emisyon seviyelerinin elde edilmesi mümkündür ancak pratikte performansı kısıtlayan çok çeşitli faktörler bulunmaktadır.

Yüksek derecede birincil NO_x azaltım tedbirleri alınmadığında tipik cam fırını emisyon seviyeleri 1200 mg/m^3 ile 2000 mg/m^3 aralığında gerçekleşecek ve yaklaşık %80 ila 90 aralığında bir emisyon düşürümü bu emisyon seviyelerini 200 mg/m^3 ila 500 mg/m^3 aralığına ve her ton eriyik camda 0.5 - 1.0 kg düzeyine düşürecektir. Bölüm 4.4.2.1'de açıklanan birincil tedbirler ile birlikte uygulandığında çok düşük rakamlara ulaşılacağı öngörülebilmektedir.

Cam Endüstrisindeki uygulamaların pek çoğunda SCR hali hazırda yürürlükte bulunan ve genellikle 500 mg/m^3 sınırından düşük olmayan yerel mevzuatla uyumluluğu sağlamak için kullanılmaktadır. Bu nedenle bu bölümde el alınan sınırlamalara tabi olan cam süreçlerinde 500 mg/m^3 'ten düşük (yüksek giriş hacmi için $<800\text{ mg/m}^3$) NO_x emisyon seviyelerine SCR kullanılarak ulaşılabilir. Bazı sanayi kollarında 200 mg/m^3 'ten düşük seviyelere de ulaşılmıştır ve Cam Endüstrisindeki bazı durumlarda da bu seviyelere yaklaşılabilirliğini beklemek çok mantıksız olmayacaktır. Ancak bu metnin yazıldığı tarihte bu düşük emisyon seviyelerinde uygulamada Cam Endüstrisinde henüz ulaşamadığı ve bu seviyelerin gerektirdiği gerek teknik ve gerekse ekonomik sonuçların göz ardı edilmemesi gereği vurgulanmalıdır. Tekniğin Cam Endüstrisindeki uygulamalarının büyük çoğunluğunda %70-80 oranında emisyon düşürümü sağlanmış olmakla birlikte özellikle yeni tesislerde %80-95'lik bir düşürüm hedefine ulaşılabilirliği öngörülmektedir [tm6 NO_x Ind.duVerre].

Mali Düşünceler

SCR'nin maliyeti temelde tesis büyüklüğüne (arıtılacak atık gaz hacmi) ve istenilen NO_x azaltım verimliliğine bağlıdır. Genelde tekniğin yüksek yatırım maliyetlerini ve orta derecede yüksek işletme maliyetlerini gerektirdiği düşünülmektedir. Ayrıca SCR 3 aşamalı entegre bir azaltım sistemi olduğundan, tekniğin maliyeti büyük ölçüde Elektrostatik Çökeltme ve atık gaz fırçasının sisteme dahil edilip edilmeyeceğine göre değişmektedir. Bazı durumlarda SCR kurulumu olmadığında fırının tozsuzlaştırma ekipmanı kurulumunu gerektirmeyebileceği ileri sürülebilirken diğer durumlarda ise bu mevcut bir gereklilik olarak öne sürülebilecektir.

Mevcut maliyet bilgilerinin yorumlanması her zaman kolay değildir ve son derece olaya özgüdür. Bu metnin yazıldığı tarihte elimizde mevcut olan bilgiler aşağıda özetlenmektedir.

Mevcut en kapsamlı veriler Fransa'daki Euroglas Yüzdürme Cam Tesisinden elde edilmiştir. Aşağıda verilen maliyet hesaplamalarında 1 Euro'nun 6.6 Fransız Frangına eşit olduğu kabul edilmiştir.

Toplam sistemin sermaye maliyeti 3,5 milyon Euro olup bunun 1,3 milyon Euro'luk kısmı SCR aşamasından meydana gelmektedir. Ele alınan tesis yeni kurulumdur ve bu nedenle herhangi bir tadilat masrafı söz konusu değildir. İşletme maliyetleri (4 yıllık katalizör ömrü esas alınarak, tam toz döngüsü varsayılarak, faiz ve amortisman giderleri hariç bırakılarak hesaplanan) 542.000 Euro'dur. (Amonyak 136.000, Enerji 83.000, Kireç 212.000, Katalizör Değiştirme 76.000, Diğer 35.000 Euro) Bu maliyetler brüt 182.500 ton net 156.950 ton) cam üretimi için hesaplanmıştır (Günlük 500 ton nominal üretim). Atık gaz hacmi yaklaşık olarak 55000 Nm³/saattir.

Almanya'daki Schott-Ruhr glass in Mitterteich tesisi 1989 yılından bu yana bir SCR birimi işletmektedir. Bu birime 6 fırın bağlıdır. Sistemin toplam atık gaz hacmi ise 60000 Nm³/saattir. 1990 yılında rapor edilen maliyetlere göre sistemin sermaye maliyetleri 1,5-2,0 Milyon Euro, işletme maliyetleri ise 450.000 Euro'dur. (100.000 Euro yıpranma ve faiz dahil). SCR aşamasıyla ilgili maliyetler yalnızca toz ve asit gaz arıtımını dışarıda bırakmaktadır [tm32 Beerens]. Tedarikçiler arasındaki rekabet nedeniyle SCR'nin sermaye maliyetleri son yıllarda düşüş göstermiştir.

Almanya, Bad Münden'deki PLM tesisi 1994 yılından bu yana 4 konteynır cam fırınına hizmet veren bir SCR sistemi işletmektedir. Bu sistemin maliyetleri de üretilen her bir ton cam başına 1,6 Euro şeklindedir (1 Euro = 2 DM, amortisman süresi 13 yıl ve faiz oranı %8). Bu da yaklaşık yıllık maliyetin 450.000 Euro olduğu anlamına gelmektedir. Sistemin sermaye maliyeti 1994 yılı itibarıyla 2,3 Milyon Euro'dur. Her iki maliyet hesaplaması da yalnızca SCR sistemi maliyetlerini içermektedir.

EIPPCB'ye sunulan bir raporda [tm32 Beerens] bir dizi fırın için maliyet tahminleri yapılmaktadır. U rakamlar aşağıda özetlenerek Bölüm 4.4.2.9'da ele alınan diğer tekniklerle karşılaştırılmaktadır. Verilen maliyetler faiz ve amortisman giderlerini kapsamamaktadır. Sermaye maliyetleri +/- %15, işletme maliyetleri ise +/- %30 hata payıyla hesaplanmaktadır.

Ebat ton/gün	Gaz Hacmi Nm ³ /saat	Sermaye maliyeti (x1000) euro	İşletim maliyeti yılda (x1000) euro
50 t/d Konteynır	6400	990	74
100 t/d Konteynır	11120	1500	108
300 t/d Konteynır	23000	2420	200
450 t/d Konteynır	33350	3100	260
600 t/d Yüzer	70000	4550	470
100 t/d Fiberglass	12000	2000-3000	139

Tablo 4.10: Elektrostatik çöktürücü ve asit gaz yıkamalı SCR maliyeti
[tm32 Beerens]

Uygulanabilirlik

Prensip olarak SCR Cam Endüstrisindeki proseslerin büyük kısmına ve hem yeni hem de eski tesislere uygulanabilmektedir. Ancak tekniğin belirli durumlarda uygulanabilirliğini ciddi şekilde sınırlandıran bir dizi hususa da dikkat etmek gerekir. Bu konular aşağıda özetlenmektedir.

Teknik ağır fuel-oil ateşlemeli tesislerde uygulanmamıştır. Bunun nedeni bu tesislerdeki baca gazının yüksek seviyede SO₂ ihtiva etmesidir. Bu ise amonyum bisülfonat oluşumuna ve katalizörün zehirlenmesine, ayrıca korozyona sebep olabilmektedir. Bu durum yüksek sülfat seviyesine sahip gaz ateşlemeli fırınlar için de geçerlidir. SCR maliyetlerinin en önemli unsurlarından biri katalizörün kullanım ömrüdür. Zehirlenme durumunda bu süre önemli ölçüde kısalabilmektedir. Ağır petrol yakıtı kullanan dizel motorlu bir sistem üzerinde yapılan denemede [tm47 French Submission] yüksek sülfür içeriği ve SCR rapor edilmektedir. Bu denemede 2500 saat işletim süresinin üzerinde herhangi bir işletim sorunu yaşanmadan %90 düşürüm sağlandığı rapor edilmiştir.

Enerji sektöründe yüksek SO₂ hacmine sahip gazların artımı için SCR kullanılmış ve sorun ekipmandan önceki aşamada etkin baca gazı sülfürsüzleştirme teknikleri kullanılarak çözüme kavuşturulmuştur. Hali hazırda Cam Sektöründe kullanılmaya devam edilen gaz fırçalama sistemlerinin SO₂ giderim etkinliği SCR için yeterli görülmemektedir. Daha verimli SO₂ giderimi ise maliyetleri önemli ölçüde artırarak toplanan malzemenin fırına geri dönüştürülmesini güçleştirecek, böylece daha fazla atık akımı meydana gelecektir. Bu konuda daha fazla bilgi Bölüm 4.4.3'te bulunabilir.

SCR özellikle hali hazırda fırçalama ve filtre birimi kurulu olmayan yerlerde çok fazla alan gereksinimi ortaya çıkaracaktır. Alanın kısıtlı olduğu bazı mevcut tesislerde bu durum tekniğin maliyetlerini önemli ölçüde artıracak, hata bazı durumlarda teknik ekonomik olarak karşılanamayacak ölçüde pahalıya gelecektir.

SCR'nin torba filtre sistemi ile birlikte uygulanması genelde pratik değildir çünkü torba filtrenin düşük işletme sıcaklığı genellikle atık gazın yeniden ısıtılmasını zorunlu kılmaktadır. Gazın 400°C'ye kadar yeniden ısıtılması ise genelde aşırı derecede maliyetlidir. [tm32 Beerkens] 65000 Nm³/saat seviyesine ulaşmak için yıllık maliyetin 800.000 Euro civarında olacağını hesaplamaktadır. Bu nedenle, eğer mevcut bir kurulum torba filtrelerle teçhiz edilirse buların Elektrostatik Çökelticilerle değiştirilmesi veya gazın yeniden ısıtılması gerekecektir ki her iki çözüm de maliyetleri muazzam ölçüde yükseltecektir. Benzer şekilde, SCR aynı zamanda çok düşük toz seviyelerini de gerektirir (<15 mg/m³, tercihen < 10 mg/m³) ve eğer mevcut Elektrostatik Çökeltici yeterli değilse bunun da ya güncellenmesi ya da yenilenmesi gerekecektir.

Teknik yüksek seviyede boron ihtiva eden belli cam türlerinde (ilaç sanayinde kullanılan borosilikat tüpler - Schott-Ruhrklas, Mitterteich) etkisi kanıtlanmış bir teknik olmakla birlikte cam yünü veya sürekli filaman cam elyafında bugüne kadar hiç denenmemiştir. Bu süreçlerden kaynaklanması muhtemel sorun ise atık gazlardaki maddeleri (özellikle borik asit) içeren uçucu boron varlığıdır. Bu maddeler 60°C'ye kadar yoğunlaşarak tuz ve asidik madde ortaya çıkarabilir. SCR sıcaklıklarında bunların önemli miktarda bulunması ise büyük olasılıktır. Bu malzemeler katalizörün performansını ciddi ölçüde etkileyebilecekleri gibi kurumu üflenmesi yoluyla giderilmesi de çok zor olacaktır.

İlgili Düşünceler

Yukarıda tanımlanan uygulanabilirlik sınırları bir tarafa bırakılacak olursa Cam Endüstrisi bağlamında SCR ile ilgili ana kaygı tekniğin diğer teknikler karşısındaki maliyet konumudur. Bölüm 4.4.2.9 NO_x düşürümü için uygulanan çeşitli tekniklerin maliyetlerini karşılaştırmaktadır. SCR Pilkington 3R Prosesi, SNCR ve bazı oksiyakıt ateşlemeli uygulamalar gibi birincil tedbirlerle (FENIX dahil) karşılaştırıldığında görece pahalı bir tekniktir. Bu tekniklerin tamamı son yıllarda önemli gelişim göstermişler ve düşürülmemiş emisyonların (yani azot ilavesi yapılmamış veya çok yüksek sıcaklık gereksinimi olmayan) 2500 mg/m³'den düşük olduğu pek çok uygulamada elde edilen emisyon seviyeleri SCR ile kanıtlanmış olan düzeylere erişebilir hale gelmiştir. Bu nedenle giriş yoğunluklarının çok yüksek olduğu durumlar bir tarafa konulacak olursa SCR Cam Endüstrisinde genel olarak en maliyet etkin teknik olarak kabul görmemektedir.

NH₃ ayırıcı basınç altında katalizör yatağı aşamasından önce baca gazına enjekte edilir ve sıvı amonyak veya sulu bir çözelti (genellikle %25) kullanılabilir. Sıvı NH₃ zararlı bir maddedir ve depolanması ve kullanımı aşamalarında dikkat edilmesi gereken önemli maliyet ve güvenlik sorunlarını da beraberinde getirir. Çoğu cam imalat süreci bu tip kimyasal maddeleri kullanmamakta ve operatörler genellikle sulu bir çözeltisini kullanmayı tercih etmektedir; ancak bunun da depolanması, taşınması ve kullanımı safhalarında özel bir dikkat gösterilmesine ihtiyaç vardır.

Amonyak emisyonları da üzerinde durulması gereken bir sorundur ve tekniğin verimliliğini sınırlayıcı bir faktör olarak ortaya çıkabilir. Hali hazırda işletim durumunda olan ünitelerden bazıları NH₃ emisyonlarının 10 mg/m³ altına indirilebileceğini ve buna rağmen cazip verimlilik seviyeleri sağlanabileceğini göstermektedir.

Faydalar

- Çok yüksek NO_x emisyon düşürümü verimliliği
- Yalnızca ısı NO_x emisyonlarını değil, fırındaki tüm kaynaklardan gelen NO_x emisyonlarını düşürür.
- Entegre bir hava kirliliği kontrol sisteminin parçasını oluşturabilir.
- Cam Endüstrisinde birkaç ve diğer sektörlerde sayısız uygulama örneği
- Çoğu durumda tedarikçi tarafından sunulan performans garantisi

Zararlar

- Bazı uygulamalarda halen daha çözüm bekleyen teknik konular bulunmaktadır (söz gelimi petrol ateşlemeli tesisler ve bazı boron ihtiva eden camlar).
- Amonyak tüketilmekte ve salınmaktadır. Bu maddenin depolanması ve nakliyatı çevresel ve güvenlik konularında sorunludur.
- Sistem önemli ölçüde enerji tüketmektedir.
- Toz azaltım ve asit gaz fırçalama sistemiyle birlikte kurulmalıdır. İşletimi için düşük toz ve SO₂ seviyeleri gerekmektedir.
- Özellikle küçük tesisler söz konusu olduğunda görece olarak yüksek sermaye maliyeti gerektirmektedir.
- Yüksek alan gereksinimi
- Göreceli maliyet üstünlüğü diğer daha ucuz tekniklerde yaşanan gelişmeler neticesinde zayıflamaktadır.
- Katalizör kullanım ömürleri hakkındaki kaygılar devam etmektedir.
- İşletme sıcaklıkları ısı geri kazanım olasılığını sınırlandırmaktadır.
- Reküperatif fırınlarda gaz soğutmasına ihtiyaç duyulabilmektedir.

Tablo 4.11: SCR'nin temel fayda ve zararları
Örnek Donanımlar

Tesis adı ve yeri	Gaz Hacmi Nm ³ /saat	Giriş mg/m ³	Çıkış mg/m ³	% Azaltım	NH ₃ mg/m ³
Schott-Ruhrglas, Mitterteich, Almanya (Borosilikat cam)	60000	5000	1500	70	<20
Euroglas SA, Homburg, Fransa (Yüzdürme cam)	55000	2000	500	75	<5
PLM Bad Münden, Almanya (Konteynir cam)	60000	1300	<400	>70	<2
Schott Glas GmbH, Mainz, Almanya (TV camı)	30000	3500-4500	650-850	70-80	<10
Philips, Aachen, Almanya (TV Camı)	30000	4000-5500	450-850	75-85	<30
Oberland Glas AG, Neuburg, Almanya (Cam kap – SCR Ünitesi artık işletilmez – izin seviyesi 10 tedbirle sağlanır)	50000	1100	<500	55	<30

4.4.2.8 Selektif Katalitik Olmayan Azaltım (SNCR)

Tekniğin Açıklanması

Selektif katalitik olmayan azaltım sürecinde (ayrıca Termal DeNOx olarak da bilinir) baca gazındaki azot oksitleri yüksek sıcaklıkta amonyak ve üre ile tepkimeye geçerek nitrojene indirgenir. Cam Endüstrisinde sadece amonyak ve aköz amonyak kullanılır. Tekniğin gerektirdiği kimyasal tepkimeler yukarıda Bölüm 4.4.2.7’de açıklanan SCR tekniğindekiyle aynıdır. Ancak tepkimeler daha yüksek bir sıcaklıkta, katalizöre ihtiyaç duyulmadan gerçekleşir. İşletme sıcaklığı 800 - 1100°C aralığında olmakla birlikte en verimli sıcaklık 950°C civarındadır. Bazı uygulamalarda atık gaza hidrojen takviyesinin tepkimeyi daha düşük sıcaklıklarda da destekleyebildiği ileri sürülmüştür. SNCR tekniğinde amonyak fırına SCR’dekinden daha yakın bir noktada enjekte edilir ve genellikle taşıyıcı bir gaza ihtiyaç duyulur. Tekniğin verimliliği bir dizi faktöre bağlı olmakla birlikte bunlardan belli başlıları şu şekilde sıralanabilir:

- sıcaklık;
- başlangıçtaki NOx konsantrasyonu;
- tektipli ayıraç ve baca gazı karışımı;
- amonyak NOx oranı ve
- tepkime süresi (1 ile 2 saniye gerekir).

Özellikle doğru sıcaklık aralığından (çok düşük sıcaklıklar amonyağın kaymasına ve verimliliğin azalmasına, yüksek sıcaklıklar ise NOx oluşumuna yol açabilir) ve ayıracın baca gazına tek biçimli olarak dağıldığından emin olmak önem taşımaktadır. Doğru sıcaklığın elde edilmesinde amonyak enjektörlerinin yerleşimi kritik role sahiptir ancak doğru sıcaklığa sahip bölge elde edilemeyebilir veya işletme koşulları ile değişikliğe uğrayabilir (söz gelimi yük değişiklikleri nedeniyle). Doğru sıcaklık bölgesindeki bu yer değişikliği daha fazla amonyak enjektörünün yerleştirilmesiyle sağlanabilir ancak bu yöntem sermaye maliyetlerini artıracığı gibi erişilebilirliğe de bağlı olacaktır. Tekbiçimli dağılımı sağlamanın yollarından biri hiç şüphesiz uygun kanal sistemi tasarımı ve eğer gerekiyorsa bölme levhalarının veya diğer akım düzeltme cihazlarının kullanımından geçmektedir.

Teknik SCR’de karşımıza çıkan olası işletme sorunlarından aynı şekilde etkilenebilmektedir: Amonyak kayması, N₂O oluşumu (üreyle daha yüksek) ve amonyum bisülfat oluşumu. Amonyum bisülfat oluşumu SCR’dekinden daha yüksek olabilir; çünkü işletme sıcaklığı her tür filtre ve fırça sisteminden önce enjeksiyon yapılmasını gerektirebilir. Teknikte katalizör bulunmamasıyla birlikte amonyum bisülfat topaklanma sorunlarına yol açabilir.

Çevresel Performans

Bazı uygulamalarda %80 oranlarına varılan emisyon azaltımı rapor edilmiş olmasına rağmen SNCR tekniğiyle sağlanan NOx düşürüm oranları genel olarak %30-70 aralığındadır. Emisyon azaltımını etkileyen en önemli faktör performansa bağlı faktörlerin ne düzeyde optimize edilebiliyor olduğudur. Modern ve uygun bir şekilde kontrol altında tutulan ve optimum koşulların sağlanabildiği bir proseste %50-75 oranlarında emisyon düşürümü sağlamak mümkündür. Genel olarak tekniğin reküperatif fırınlarda uygulamaya sokulması rejeneratif fırınlara nazaran daha kolaydır.

Nihai emisyon konsantrasyonu başlangıç konsantrasyonuna bağlı olacak; bu yüzden en iyi sonuçlar da tekniğin birincil emisyon azaltım tedbirleriyle bir arada kullanıldığı durumlarda elde edilebilecektir. Örneğin, 1100 mg/m³ seviyesindeki bir başlangıç konsantrasyonu proses koşullarına bağlı olarak 275 ila 770 mg/m³ seviyelerine düşürülebilir. Örneğin 4000 mg/m³ gibi yüksek bir başlangıç konsantrasyonu ise 1000 ila 2800 mg/m³ aralığına çekilebilecektir.

[tm35 SNCR] Vetropack raporunda günlük 220 ton seviyesinde emisyon seviyesinin 800’den yaklaşık olarak 200 mg/m³ seviyesine çekilebildiği, günlük 340 tonda ise yaklaşık %60 oranında emisyon azaltımı sağlanabildiği belirtilmektedir. Her iki olayda da amonyak kayması düşük seviyededir.

Mali Düşünceler

EIPPCB [tm32 Beerkens]'e gönderilen bir raporda maliyetler bir dizi fırına yönelik olarak sunulmuştur. Rakamlar aşağıda özetlenmiş ve Kısım 4.4.2.9'daki diğer tekniklerle karşılaştırılmıştır. Verilen maliyetler faiz veya fiyat farkını içermez. Sermaye maliyetleri artı eksi % 15 olarak hesaplanır ve işletim maliyetleri de artı eksi % 30 olarak hesaplanır.

Ebat ton /gün	Gaz Hacmi Nm ³ /saat	Sermaye maliyetleri (x1000) euro	İşletim maliyetleri yılda (x1000) euro
50 t/d Konteynır	6400	190	23
100 t/d Konteynır	11120	280	28
300 t/d Konteynır	23000	450	73
450 t/d Konteynır	33350	575	100
600 t/d Yüzer	70000	1350	225

Tablo 4.12: SNCR maliyetleri

[tm32 Beerkens]

Uygulanabilirlik

Prinsip olarak teknik yeni veya eski tüm cam proseslerine uygulanabilmektedir. SNCR SCR'ye nazaran daha düşük sermaye maliyetlerini ve daha az alan kullanımını gerektirmekte; bu da alan kısıtı bulunan durumlarda bu tekniği daha cazip hale getirmektedir. Teknik ayrıca gaz fırçalama ve toz giderim ekipmanları olmadan da işletilebilmektedir. Eğer doğru proses koşulları mevcutsa hali hazırda mevcut tesislerdeki SCNR sistemlerinde tadilat yapılması SCR'den daha kolaydır. Ancak tekniğin Cam Endüstrisindeki kullanımını sınırlandıran belli bazı faktörlerin varlığından da bahsetmek gerekir. Bu faktörler arasında en önemlisi doğru sıcaklığın uygun bir tepkime süresi boyunca idame ettirilebildiği atık gaz sistemine herhangi bir noktada ayıraç takviyesi yapıp yapılamadığıdır. Bu özellikle mevcut tesislerde ve rejeneratif fırınlar için önem taşıyan bir husustur.

Mevcut tesislerde doğru sıcaklığın meydana geldiği alana erişmek zor olabilir veya bu alan ayıraç ile iyi bir karışımın meydana gelmesine gaz akımının izin vermediği bir konumda bulunabilir. Çoğu durumda bu sorunlar aşılabılır veya en azından azaltılabilir ancak bu yönde gerçekleştirilecek uygulamalar sistemin maliyetini artırabilir ve NO_x azaltım verimliliğini düşürebilir. Rejeneratif fırınlar söz konusu olduğunda doğru sıcaklık aralığı genellikle rejeneratörler içinde meydana gelir ki, bu da amonyağın etkin bir şekilde enjekte edilmesini güçleştiren bir faktördür. Bu sorun split rejeneratörler kullanılarak ve amonyak bağlantı içine enjekte edilerek çözülebilir. Yeni bir tesisin tasarımına split rejeneratörler dahil edilebilir; ancak rejeneratörleri ayıran mevcut prosesler söz önemli maliyetler getirebilmekte ve ayrıca yalnızca yeniden inşa aşamasında yapılabilir.

Uygulamada SNCR mevcut rejeneratif fırınlarda kullanılmaya müsait değildir; maliyetler ve sisteme özgü güçlükler genelde operatör alternatif NO_x emisyon azaltım tedbirlerinden birini tercih etmeye zorlamaktadır. Daha küçük boyuttaki reküperatif fırınlarda SNCR'nin göreceli maliyetleri son derece yüksektir ve pek çok durumda da endüstri diğer maliyet etkin kontrol tedbirlerini tercih etme eğilimindedir. Yine de nihai tercih ihtiyaç duyulan performans seviyesine bağlı olacaktır.

İlgili Düşünceler

Faydalar:

- SNCR doğru koşullar sağlandığında iyi NO_x azaltım verimlilikleri sağlayabilirler.
- Bazı alternatiflere kıyasla düşük sermaye maliyeti.
- Katalizör gerektirmez.
- Düşük enerji gereksinimleri.

Zararlar:

- Amonyak enjeksiyonunun doğru sıcaklık penceresinde gerçekleştirilmesi esas teşkil etmektedir; ancak bu bazen ya çok zordur veya bu pencereye erişmek imkansızdır (özellikle rejeneratif fırınlarda).
- İşletme sıcaklığı aralığı dışına çıldığında NH₃ veya aşırı NO_x emisyonlarıyla karşı karşıya kalılabilmektedir.
- Tek biçimli karışım çok önemlidir ve bunu sağlamak da çok güçtür.
- Amonyak tüketilmekte ve salınmaktadır. Bu maddenin depolanması ve nakliyatı çevresel ve güvenlik konularında sorunludur.
- Rejeneratörün ateşe dayanıklı malzemesinin zarar görmesi yönünde kaygılar vardır.

Tablo 4.13: SNCR'nin ana fayda ve zararları**Örnek Donanımlar**

Vetropack AG, Bülach, İsviçre – Konteynır Cam.

PPG Fresno, California, ABD- Yüzdürme Cam.

Schott Glas, Mainz, Almanya – Özel Cam.

Henkel, Dusseldorf, Almanya – Su Bardağı.

Osram, Augsburg, almanya – Işıklandırma Camı.

4.4.2.9 NO_x Azaltım Tekniği Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda bu bölümde açıklanan temel NO_x azaltım tekniklerinin maliyetleri karşılaştırılır. Burada sunulan bilgiler çoğunlukla EIPPCB [tm32 Beerkens] için hazırlanan rapora dayanır. Bu tip bir raporda yer alması imkansız olan çok geniş çapta donanım özgülü hususlar mevcuttur, örneğin:

- Enerji fiyatları (özellikle elektrik).
- Vergilendirme.
- Materyal maliyetleri (örneğin; kireç, amonyak vb.)
- Üye Ülkelerce sağlanan teşvik planları.
- Süreç operatörleri ile tedarikçiler arasındaki uzlaşmanın ayrıntıları.
- Katı veya sıvı atıklara yönelik tahliye maliyetleri.
- Donanım altyapısı.

Belirli bir tekniğin maliyeti sektörler arasında, cam türleri arasında ve farklı ölçeklerdeki fırınlar arasında da değişiklik gösterebilir. Bu belge kapsamında tüm ölçek ve cam tipi kombinasyonlarına yer vermek mümkün değildir. Ayrıca Cam Endüstrisinin belirli kısımları ile ilgili olarak da kamuya açık bilgi miktarı son derece kısıtlıdır. Bu nedenle burada sunulan bilgiler ancak mevcut veriler üzerine inşa edilmiş ve belli bir derecede yorum ve uyarlamaya dayalı genel bir kılavuz olarak düşünülmelidir. Daha ayrıntılı ve derinlemesine bir çalışma için çok daha geniş bir zamana ve çok daha kapsamlı bilgiye ihtiyaç duyulacaktır. Tüm bunların bu çalışmanın kapsamı içinde yerine getirilmesi ise mümkün değildir.

Tümü de kalsiyum oksit fırını olan ve sürekli filaman cam elyaf fırını için olası bilgilerin geçici olarak önerildiği beş tipik olay göz önünde bulundurulmaktadır. Bu örneklerin seçilme nedeni cam üretiminin çoğunluğunu temsil etme yeteneğine sahip olmaları ve bu tip fırınlar hakkında elde geniş bilgi kaynaklarının bulunmasıdır. Verilen örnekler çeşitli üretim alanlarını temsil etmekle birlikte diğer cam üretimi tipleriyle doğrudan karşılaştırmalar yapılırken gerekli özenin gösterilmesi şarttır. Örneğin, %48 oranında hurda cam ile işetlenen günlük 100 ton kapasiteli bir konteynır fırın günlük 100 ton kapasiteli sürekli filaman cam elyafı fırınından çok daha küçük olacaktır. Bu nedenle örneklerin baca gazı hacimleri verilmekte olup bunlar diğer sektörlerle karşılaştırma yapılırken yardımcı olacaktır.

Beş durum şunlardır:

1. Konteynır cam üretimi, 50 ton erimiş cam /gün (reküperatif).
2. Konteynır cam üretimi, 100 ton erimiş cam /gün (reküperatif).
3. Konteynır cam üretimi, 300 ton erimiş cam /gün (rejeneratif).
4. Konteynır cam üretimi, 450 ton erimiş cam /gün (rejeneratif).
5. Yüzdürme cam üretimi, 600 ton erimiş cam /gün (rejeneratif).

Düşünülen teknikler:

1. Düşük NOx yakma sistemleri ve NOx yakma kontrolü.
2. Baca gazı ön koşullama maliyetleri haricen SCR (yani filtre ve gaz yıkayıcı hariç).
3. SNCR.
4. Pilkington 3R tekniği (lisans masrafları ve rejeneratif refrakter modifikasyonlarına yönelik izin ile veya olmaksızın).
5. 100 % oksı-yakıt ateşleme.
6. SCR artı baca gazı ön koşullama (yani filtre ve gaz yıkayıcı ile birlikte);
7. Partikülat ve asit gazı emisyon azaltımına yönelik filtre + gaz yıkayıcı.

Hali hazırda filtre ve fırça kurulumu yapılmış olan herhangi bir uygulamanın maliyetlerini göstermek için gaz ön koşullandırma süreci içeren ve içermeyen SCR sistemlerinin maliyetleri verilmektedir. Ancak çok açık ki burada tadilatın kaynaklanan maliyetler yer alacaktır. Filtre ve fırçanın sermaye ve işletme maliyetlerinin verilen güven aralığında hem torba filtreler için hem de elektrostatik çökticiler için bir gösterge olacağı düşünülmektedir.

Aşağıdaki tablo örnek olaylar için çeşitli tekniklerin gösterge sermaye maliyetlerini (+/- %15 sapmayla) göstermektedir. Bu bölümün spesifik alt başlıkları altında daha ayrıntılı bilgiler de sunulmaktadır. Bu maliyetler faiz giderlerini veya diğer sermaye edinme maliyetlerini içermemektedir. Oksijen üretim prosesinin sermaye maliyeti işletme maliyetlerine dahil edilmiştir. Tüm değerler Euro cinsindendir. Oksı-yakıt için verilen eksi maliyetin nedeni reküperatör veya rejeneratör sistemi vasıtasıyla gerçekleştirilen tasarruflardır. Bölüm 4.4.2.5'te rejeneratör sistemleri için de incelendiği gibi bu yöntem esas olarak yeni tesislere uygulanmaktadır ve fırın için daha pahalı ateşe dayanıklı malzeme kullanılması gerekiyorsa belli bir dereceye kadar denkleştirilebilmektedir. 3R maliyetleri büyük ölçüde rejeneratör onarımının öngörülüp öngörülmediğine bağlıdır. Bu konu Bölüm 4.4.2.6.1'de incelenmektedir.

Euro olarak Sermaye maliyetleri	50 TPD	100 TPD	300 TPD	450 TPD	600 TPD
	konteynır	konteynır	konteynır	konteynır	yüzer
SCR	430000	615000	1000000	130000	1800000
SNCR	190000	280000	450000	575000	1350000
Düşük Nox	100000	100000	180000	200000	550000
Oksi-Yakıt	-200000	-300000	-1350000	-1750000	-4800000
Onarım vb. de dahil 3R			270000	350000	680000
Onarımlar hariç 3R			140000	170000	260000
SCR+filtre	990000	1500000	2420000	3100000	4550000
Filtre+gaz yıkayıcı	565000	875000	1420000	1820000	2750000
Nm ³ baca gazı/saat	6400	11120	23000	33350	70000

Tablo 4.14: Azaltım tekniklerine yönelik sermaye maliyetleri
[tm32 Beerkens]

Aşağıdaki tablo 4.1.5 örnek olaylar için çeşitli tekniklerin gösterge işletme maliyetlerini (+/- %30 sapmayla) göstermektedir. Bu bölümün spesifik alt başlıkları altında daha ayrıntılı bilgiler de sunulmaktadır. Verilen maliyetler ayıraçları (örneğin amonyak ve kireç), baca gazı izleme sistemini, bakımı ve fanlar vb sistemler için kullanılan ekstra enerji maliyetlerini içermektedir. Sermaye faizi ve amortisman giderleri dahil edilmemiştir. Oksi-yakıtlı eritme için oksijenin maliyeti (sermaye ve enerji dahil) küçük kullanıcılarda 0.055 euro/m³, büyük kullanıcılarda ise 0.04 euro/m³ baz fiyata göre hesaplanmış olup bu rakamların [tm6 NOx Ind.duVerre'de] verilen değerlerle karşılaştırılabilir olmasına dikkat edilmiştir. Maliyetler ayrıca oksi-yakıt eritme işlemi için öngörülen enerji tasarruflarını da içermektedir. Reküperatif fırınlar için %25-30, rejeneratif fırınlar içinse %10-15 kullanılmıştır.

Euro olarak Sermaye maliyetleri	50 TPD	100 TPD	300 TPD	450 TPD	600 TPD	100 TPD
	konteynır	konteynır	konteynır	konteynır	yüzer	fiber
SCR	42	64	123	166	330	100
SNCR	23	28	73	100	225	23-35 ⁽¹⁾
Düşük Nox	15	21	35	46	72	21
Onarımlar ile 3R			185	255	285	
Onarımsız 3R			106	156	267	
Oksijen	135	190	530	1110	1900	227
SCR+filtre	74	108	200	260	470	139
Filtre artı gaz yıkayıcı	37	53	89	116	186	64

Tablo 4.15: Azaltım tekniklerine yönelik yıllık işletim maliyetleri
[tm32 Beerkens]

⁽¹⁾ Tahmini maliyetler

Aşağıdaki tabloda bir ton cam başına euro olarak her bir tekniğin toplam maliyetleri verilmiştir (10 yıllık amortisman ve % 7'lik faiz de dahil).

Ton erimiş cam/gün	m3 baca gazı / saat	Euro/ton cam							
		Düşük NOx	SCR	SNCR	3R + onarım	3R onarım gerekmez	Oksi-Yakıt	SCR +filtre gaz yıkayıcı	filtre + gaz yıkayıcı
50	6400	2.36	7.01	3.65	3.96	3.18	6.17	14.25	7.97
100	11120	1.34	4.98	2.35	2.87	2.20	4.06	10.2	5.52
300	23000	0.72	2.83	1.49	2.28	1.35	5.05	5.75	3.01
450	33350	0.57	2.44	1.3	2.02	1.23	5.04	4.92	2.68
100 fiber	12000	1	5	1.5-2	4-4.5	2.50	7-8	13	9
600 yüzer	70000	0.83	2.99	2.16	1.91	1.50	5.16	5.78	3.06

Tablo 4.16: Euro/ton cam olarak azaltım tekniklerine yönelik spesifik maliyetler

[tm32 Beerkens]

NOx emisyonu düşürümü hesaplanırken başlangıç NOx seviyesi reküperatif fırınlar için 1600 mg/m³, yüzdürme cam için 2000 mg/m³ olarak alınır. Ayrıca her bir teknikler bazında geçerli emisyon düşürüm seviyeleri de SCR için %80, SNCR için %50, düşük NOx için %50, 3R için %65 ve oksi yakıt için kütle olarak %80'dir. SNCR ve özellikle 3R için emisyon düşürüm seviyeleri daha yüksek olabilir (3R için %80'e kadar).

Oksi-yakıt ateşlemesi maliyetlerini öngörmek oldukça zordur ve gerçekleştirilen enerji tasarrufuna ve oksijenin maliyetine bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Örneğin, bu maliyetler reküperatif fırınlarda %25-30 enerji düşürümü varsayımına göre hesaplanmıştır. Hurda cam kullanımının çok daha düşük seviyede olabildiği diğer sektörlerde bu oran %50 olabilir. Benzer şekilde, kuruluma özel koşullara bağlı olarak oksijenin metre küp maliyeti önemli ölçüde düşük olabilir. Bu durum aynı tesiste birden fazla fırının bulunduğu durumlar için özellikle geçerlidir. Aşağıdaki tablo birbirine benzer iki maliyet limiti için her bir ton camın maliyetinde karşılaşılan muazzam farklılaşmanın bir göstergesini sunmaktadır. Oksi-yakıt eritme sisteminin seçiminde potansiyel öneme sahip başka ekonomik etmenler de söz konusudur. Bunlar Bölüm 4.4.2.5'te incelenmektedir.

Ton/gün Erimiş Cam	İlave maliyetler /erimiş ton cam Oksijen 0.03 euro/m3	İlave maliyetler /erimiş ton cam Oksijen 0.06 euro/m3
50	-0.47	7.5
100	-0.55	6.4
300	2.5	8.7
450	2.5	8.6
600	2.3	10.8

Tablo 4.17: İki oksijen fiyatına yönelik oksi-yakıt eritme maliyetleri (euro/ton cam) [tm32 Beerkens]

4.4.3 Sülfür Oksitleri (SOx)

Sülfür oksitler (SOx) terimi sülfür dioksit (SO₂) ve SO₂ eşdeğeri olarak ifade edilen sülfür trioksidi (SO₃) içermektedir. Sülfür dioksit Cam Endüstrisinde uzak ara en çok rastlanan sülfür oksidi olup aşağıdaki incelemenin büyük kısmı bu türleri konu etmektedir. SO₃ ise yaklaşık 200°C altında genellikle asit buharı veya buğusu formunda bulunmaktadır. Sülfür oksit emisyonlarının en önemli iki kaynağı yakıtlardaki sülfürün oksitlenmesi ve yığın malzemeleri içindeki sülfür bileşiklerinin bozunması / oksidasyonudur.

Sülfür bileşiklerinin cam içinde tutulma durumu ise genelde düşüktür (çoğu endüstriyel camda SO₃ olarak <%0.35)ve genelde fırına giren sülfürün büyük kısmı SOx olarak atmosfere salınır. Atık gaz akımında yer alan SOx'in bir kısmı diğer türlerle tepkimeye girerek sülfatları meydana getirecek; bunlar da yoğunlaşarak toz oluşturacaktır. Tozdaki sülfat miktarı cam türüne göre değişiklik göstermekle birlikte kalsiyum oksit camlarda bu oran %98 civarındadır. Bu konu Bölüm 4.4.1'de daha ayrıntılı olarak incelenmektedir.

Elektrik ısıtmalı fırınlarda SO₂ emisyonları çok düşük olma eğilimindedir ve ancak hammadde bozunumundan kaynaklanırlar. Taş yünü kupolalarında toplamda düşürücü bir atmosfer bulunmaktadır ve hammaddelerden ve yakıttan kaynaklanan sülfür esas olarak SO_x ve hidrojen sülfid (H₂S) olarak salınır. AB’de faaliyet gösteren tesislerde atık gazlar genellikle H₂S’yi oksitleyerek SO₂’ye dönüştüren bir brülör-sonrası sistemde işlemden geçirilirler.

4.4.3.1 Yakıt Seçimi

Yakıt ateşlemeli proseslerde ana SO_x kaynağı yakıttaki sülfürün oksitlenmesidir. Yığın malzemelerinden türetilen SO_x miktarı cam tipine göre değişiklik gösterir, ancak genelde nerede bir fuel-oil yakılıyorsa orada yakıttan kaynaklanan SO_x emisyonları yığın malzemelerden kaynaklanan SO_x emisyonlarından daha yüksek düzeyde olur. SO_x emisyonlarını azaltmanın en kesin yolu kullanılan yakıtın sülfür içeriğinin azaltılmasıdır. Fuel oilde çeşitli derecelerde sülfür bulunmaktadır (<1 %, <2 %, <3 % ve >3 %) ve doğal gaz genellikle sülfürsüzdür. Avrupa’daki bazı cam fırınlarında %3.5’e kadar sülfür içeren akaryakıt kullanılmaktadır ancak çoğu Üye Devlette %2’den fazla sülfür ihtiva eden yakıtlar nadiren kullanılmaktadır. Bu metnin yazıldığı tarihte AB’de asitleştirme kontrolünü iyileştirebilmek amacıyla akaryakıtlardaki sülfür içeriğini %1 veya aşağıdaki eşdeğer azaltma seviyelerinde tutmak için AB genelinde alınacak tedbirler üzerine incelemeler devam etmektedir. Aşağıdaki tablo çeşitli sülfür derecesine sahip kalsiyum oksit camlardan kaynaklanan bazı tipik SO_x emisyonlarını göstermektedir. Rakamlar yalnızca açıklayıcı mahiyette olup gerçek rakamlar önemli ölçüde farklılık gösterebilir.

Yakıt	SO _x (SO ₂ olarak) mg/m ³
Doğal gaz	300-1000
% 1 Kükürtlü fuel oil	1200-1800
% 2 Kükürtlü fuel oil	2200-2800

Tablo 4.18: Farklı yakıtlara yönelik cam fırını atık gazındaki indikatif SO_x emisyonları

Doğal gaz kullanımı endüstri içinde gittikçe artmaktadır. Örneğin neredeyse tüm fosil yakıt ateşlemeli cam yünü fırınları, sürekli filaman cam elyafı fırınlarının büyük çoğunluğu ve tüm konteynır cam fırınlarının yaklaşık %50’si doğal gazla yakılmaktadır. Ancak buradaki ana belirleyici etmen gaz ve petrol arasındaki yakıt fiyatı farklılaşmasıdır. Endüstrideki genel tecrübe artan uygulama tecrübesiyle birlikte farklılığın daralma eğiliminde olmasına rağmen doğal gaza dönüştürme işleminin yaklaşık %25-40 arasında daha yüksek NO_x emisyonlarına sebep olduğu şeklindedir. Bu konu Bölüm 4.4.2.1’de (Yakıt Seçimi) daha ayrıntılı olarak incelenmektedir.

Daha düşük sülfür ihtiva eden bir yakıtı dönüştürme işlemi yüksek yakıt fiyatı dışında fazladan bir maliyet artışına neden olmamaktadır. Gaz ateşleme sistemine dönüştürme işlemi farklı brülörlerin kullanılmasını, brülörlere gaz temin edecek şebekenin kurulmasını ve brülörler ve yakıt portlarında çeşitli değişiklikler yapılmasını gerektirmektedir. Bazı durumlarda tesislerin doğal gaz şebekesine erişimi de mümkün olmayabilir. Çeşitli yakıtların fiyatları zaman içinde ve Üye Devletler arasında farklılık gösterebilmektedir; ancak genelde sülfür içeriğinde %1’lik bir azalma fiyatta yaklaşık %5’lik bir farka karşılık gelmektedir. Çoğu Üye Devlette doğal gaz akaryakıttan daha pahalıdır; ancak bazı ülkelerde de (örneğin 1998’de Britanya’da) daha ucuz olduğu da görülmektedir. Eğer baz fiyat 100 alınacak olursa 1998 yılında Fransa’da çeşitli yakıt fiyatları şu şekildeydi: Elektrik 522, doğal gaz 122, %1 sülfürlü benzin 100, %2 sülfürlü benzin 94 ve %3 sülfürlü benzin 87. Britanya’da 1998 yılında doğal gaz %2 sülfürlü benzinden %20-30 oranında daha ucuzdu.

Aşağıdaki tabloda 1 Ocak 1998 tarihine yönelik tahminler temel alınarak çeşitli enerji kaynaklarına yönelik maliyet değişimleri gösterilmektedir. Rakamlardaki değişimler 100 olarak ayarlı her bir enerji türüne yönelik rakamlarla birlikte ifade edilir ve ayrıca fiili ortalama fiyatlar da verilmiştir.

	Ağır Fuel Oil	Doğal Gaz	Elektrik
Ortalama – baz 100 (fiili ortalama maliyet Euro/GJ)	100 (300 euro/GJ)	100 (370 euro/GJ)	100 (1310 euro/GJ)
Maksimum	122 (Hollanda)	150 (İsveç)	131 (Avusturya)
Minimum	72 (Belçika)	80 (Birleşik Krallık)	64 (Finlandiya)
Maksimum/Minimum	1.69	1.87	2.04
AB Ortalaması (Baz 100 = ağır fuel oil)	100	123	436

Tablo 4.19: AB enerji fiyatlarındaki değişimler –kaynak (CPIV)

Taş yünü imalatında kullanılan sıcak üfırme kupolalar kok kömürü ile ısıtılmaktadır. Sektörde kullanılan kok kömürünün sülfür içeriği çok düşük seviyede farklılaşma göstermektedir (0.6 % ila 0.9 %) ve kullanılan kaynağa bağlıdır. Kok kömüründen kaynaklanan SO₂ üfleme fırını cürufunun ve çimentoyla bağlı atığın kullanımına göre genellikle toplam emisyonun %30-70'ini oluşturur. Eğer tesis uygun bir kaynağın makul ölçüde yakınına kurulu değilse düşük sülfür içeriğine sahip kok kömürünün nakliyesi pahalı, emisyon azaltımı da maliyetle orantısız olacaktır. Sektör petrol koku gibi yüksek sülfürlü alternatifleri kullanmamakta ve çoğu durumda kok kömürünün sülfür içeriği ekonomik olarak uygulanabilir olduğu ölçüde düşürülmüş olacaktır.

4.4.3.2 Yığın Formülasyonu

Konvansiyonel cam üretiminde yığın malzemelerinden kaynaklanan SO_x emisyonlarının ana kaynağı sülfatlardır. Sülfatların en yaygın olarak kullanıldığı alan inceltme ajanlarıdır. Ayrıca sülfatlar önemli oksitleme ajanları arasında da yer almaktadır. Sektörde açık ara en fazla kullanılan sülfat sodyum sülfattır. Sodyum sülfat erime sırasında çözünerek gaz formunda SO_x ve camın içinde bulunan Na₂O meydana getirir. Potasyum ve kalsiyum sülfatları da yaygın şekilde kullanılmaktadır. Modern cam fırınlarının büyük kısmında yığın sülfatı seviyeleri mümkün olan minimum seviyeye düşürülmüş olup bu seviye cam tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yığın sülfatlarının düşürümüyle ilgili konular Bölüm 4.4.1.12'de incelenmektedir. Filtre / Elektrostatik Çökeltici tozunun geri dönüştürülmesiyle ilgili konularsa Bölüm 4.4.3.3.'de ele alınmaktadır. İnceltme ve oksitleme ajanlarından kaynaklanan tipik emisyon seviyeleri 200 - 800 mg/Nm³ ve bir ton eriyik cam içinde 0.2 - 1.4 kg civarındadır.

Taş yünü imalatında önemli SO₂ emisyonu kaynakları (kok kömürüne ek olarak) yığın içinde üfleme fırını cürufu ve çimentolu briket kullanımınıdır. Cüruf genellikle ağırlık olarak %0,6-1,5 aralığında sülfür içermektedir ve bu sülfürün büyük kısmı H₂S ve SO₂ olarak salınmaktadır. Eğer bir art-yakıcı kullanılıyorsa emisyonlar büyük ölçüde SO₂ oluşturacak şekilde oksitlenecektir. Düşük sülfür içeriğine sahip üfleme fırını cürufu satın alma seçenekleri sınırlıdır ve tesislerin ekonomik nakliye mesafelerinde bulunan çok az sayıdaki tedarikçiden bu ürünü satın almaları genellikle uzaklık sorunu nedeniyle mümkün olmamaktadır.

Yığındaki cüruf yüzdesi cüruf camı tesislerinde %100'e varan oranlarla çoğu normal taş yünü tesisinde sıfıra yaklaşan oranlar arasında büyük değişim göstermektedir. Çoğu durumda eğer kullanılıyorsa cüruf toplam yığının (kok kömürü hariç) yaklaşık yüzde 30'unu oluşturmaktadır. Cürufun üründe kullanımının zorunlu olduğu tek uygulama tabanca püskürtmeli elyaflar ve tavan tahtaları gibi uygulamalarda yer alan beyaz elyafların üretimidir. Bu uygulamalar sektörün toplam üretim miktarının çok küçük bir bölümünü meydana getirmektedir ancak belli tesisler yalnızca bu ürünleri imal etmektedir. Yığında yaklaşık %30 oranında cüruf kullanan bir tesis için bölgedeki düşürülmemiş SO₂ emisyonları cürufsuz yığın kullanan bir tesisin kimi zaman 2-3 katına çıkmaktadır. Bu metnin yazıldığı tarihte Avrupa'daki taş yünü tesislerinin yaklaşık %30'unun üfleme fırını cürufu kullandığı tahmin edilmektedir [tm26 EURIMA].

SO₂ emisyonlarının azaltılmasında cüruf kullanımını ortadan kaldırmanın sağlayacağı olumlu etki açıkça görülmektedir. Ancak cüruf kullanımının sağladığı bir dizi faydadan da söz etmemiz gerekir. Bunlar aşağıda özetlenmektedir.

- Kireçtaşı yerine kısmen cüruf kullanımından kaynaklanan daha düşük enerji kullanımı ve buna paralel olarak azalan CO2 emisyonları. Enerji tüketimi ve CO2 emisyonları bir bazalt-kireçtaşı kullanıcısı tesisten %5-15 oranında daha düşüktür.
- Daha az demir içeriği sayesinde kapama sıklığı azalacak ve böylece toplam verim yükselecektir. Üretim hattında çok daha az kesinti meydana gelir ve katı atık miktarında az da olsa azalma görülür.
- Bazı durumlarda cüruf kullanımının eriyiğin elyaflaşma özelliğinin daha iyi olduğu ileri sürülmektedir. Bu ise proses verimliliğinin artmasına ve gülle oluşumundaki azalmaya bağlı olarak daha düşük atık seviyesine neden olmaktadır.
- Üfleme fırını cürufu bu tür işletmelerde kullanılmadığı takdirde düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi gereken bir atık malzemedir. Dahası doğal taş malzemeler yerine kullanılmakta olduğundan taşıyacağı ürünlerinin kullanımını azaltmaktadır.
- Cüruf ayrıca yerine kullanıldığı malzemelere göre daha ucuzdur.

Yukarıda açıklanan avantajlardan pek çoğunun geri dönüştürülen proses atıklarının daha fazla kullanımı yoluyla elde edilmesi de mümkündür. Bazı durumlarda cüruf kullanımının çevre kirliliği üzerindeki bütüncül etkileri hakkında tesis sahasına özgü bir değerlendirme yapılmasına gerek duyulabilir. Ancak genel bir kalite değerlendirmesinde cüruf kullanımının sağladığı faydaların meydana gelen emisyonların neden olduğu zararı karşılamaktan uzak olduğu görülmektedir. Eğer ürün rengi bağlamında cüruf kullanımı gerekiyorsa bu durumda bu kullanım geri dönüştürülen dahili proses atıklarının kullanımı yoluyla en alt düzeye çekilebilir. Eğer ikincil SOx azaltım tedbirleri uygulanıyorsa cüruf kullanımıyla ilgili çevresel denge değişikliğe uğrayabilir.

Çimento briketli atıklar tipik olarak yaklaşık %0.16 oranında sülfür ihtiva eder ve yığın içinde bu atıkların kullanımı oranı yaklaşık %45 seviyelerine ulaşabilmektedir. Bu da sülfür girdisinin yaklaşık %75'inin %0.7'lik sülfür kokundan kaynaklanması sonucunu doğurmaktadır. Yığının yüzde 30'unu oluşturan %1'lik sülfürlü cüruf ile yığının yüzde 45'ini oluşturan %0.16'lık sülfür briketleri arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa cürufun sülfür katkısının briketlerin yaklaşık üç katı olduğu görülecektir. Briketlerin çimento içeriğini minimize etmek veya çimento yerine tümüyle diğer bağlayıcı malzemelerin kullanılmasını sağlamak için çalışmalar devam etmektedir.

4.4.3.3 Kuru veya Yarı kuru Gaz Yıkama

Tekniğin Açıklaması

Atık gaz akımına reaktif malzeme (soğurucu) eklenerek dağıtılır. Bu malzeme SOx türleriyle tepkimeye girerek elektrostatik bir çökeltici veya torba filtre sistemi vasıtasıyla atık gaz akımından giderilmesi gereken bir katı madde meydana getirir. SOx giderimi için seçilen soğurucular aynı zamanda diğer asidik gazların, özellikle de halidlerin (HCl ve HF) ve ayrıca bazı selenyum bileşiklerinin gideriminde de etkilidir. Bazı uygulamalarda soğurucu madde doğrudan atık gaz kanal sistemine enjekte edilir ancak teknikler esas itibarıyla ir tepkime kulesinin (kuru proses) veya tepkime odasının (yarı-kuru proses) kullanıldığı durumlarda daha etkilidir.

Kuru proste soğurucu madde dağılımı sağlamak için içine hava ilavesi yapılabilen kuru bir tozdur (genellikle Ca(OH)_2 , NaHCO_3 veya $\text{Na}_2(\text{CO}_3)$). Yarı-kuru proste kullanılan soğurucu madde (genellikle Na_2CO_3 , CaO veya Ca(OH)_2) süspansiyon veya çözelti olarak ilave edilir ve suyun buharlaşması gaz akımını soğutur. Diğer endüstriyel uygulamalarda yukarıda tanımlanan yarı-kuru proses sıkça yarı-ıslak olarak da adlandırılır. Cam sektöründe kullanılan isimlendirme bu şekilde olduğu için bu belge kapsamında yarı-kuru proses ifadesi tercih edilmektedir.

Kuru proses cam endüstrisinde yarı-kuru prosteden daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Genelde teknikle sağlanan azaltım oranı büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır ancak farklı atık gaz bileşenlerinde birbirinden çok farklı sıcaklık aralıkları geçerlidir. Dahası atık gaz kirlleticilerin çeşitli soğurucu maddelerle tepkime dereceleri de birbirinden çok farklı düzeydedir. Farklı türler arasında, özellikle de tepken maddenin asidik gazlara oranla düşük olduğu durumlarda farklı türler arasında birbiriyle rekabet halinde tepkimeler meydana gelir. Bu nedenle farklı soğurma oranları söz konusu soğurma ajanının spesifik miktarına, atık gaz bileşimine (kirleticiler başta olmak üzere nemlilik ve oksijen içeriği) ve tepkime sıcaklığına bağlıdır.

Dahası gaz / katı tepkimesinin niteliğinden ötürü soğurma oranları soğurucu maddenin aktif spesifik alanına ve kalış süresine de bağlıdır. Bu nedenle normal olarak soğurucu maddenin aşırı-stokiyometrik bir orana sahip olması gerekmektedir. Soğurucu maddenin özgül miktarı çoğu zaman iki şekilde tanımlanabilecek molar oranla ifade edilir:

MR1= Azaltılan SO_x üzerindeki molar absorban oranı

MR2= Toplam SO_x girdisi üzerindeki molar absorban oranı.

Elektrostatik çökticilerle birlikte kuru veya yarı-kuru proses kullanılabilir ancak torba filtreler söz konusu olduğunda atık gazların soğutulmasına ihtiyaç vardır. Cam Endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan fırçalama prosesi soğurucu madde olarak Ca(OH)₂'nin bulunduğu, 400°C civarında gerçekleşen, bir elektrostatik çöktici ile birlikte uygulanan kuru procestir. Bunun nedeni Ca(OH)₂ 'nin bu sıcaklıkta görece iyi bir azaltım performansına sahip olması ve 400°C sıcaklığın atık gazda soğutma uygulaması olmada ve bir elektrostatik çökticinin işletme aralığında kolayca elde edilebilir olmasıdır.

Torba filtre sistemlerinin kullanıldığı durumlarda sıcaklık 200°C'nin altına çekilmelidir. Bu soğutma ise ısı dönüştürücü veya soğutma havası kullanılarak elde edilebilir. Ayrıca yarı-kuru proses uygulanırken suyun buharlaştırılması yoluyla da soğutma sağlanabilir. Sıcaklık azaldıkça belli türlerin azaltım oranları da (özellikle HCl ve SO₂) hızla azalacak ve 200 ila 280°C sıcaklık aralığında bu oran en alt düzeye gerileyecektir. Torba filtreler için tavsiye edilen işletme aralığı olan 200°C'nin altındaki sıcaklıklarda azaltım oranları yükselir ve çoğu kirleticide bazen 400°C'de yakalanandan bile daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Çevresel Performans

Yukarıda da belirtildiği gibi bu tekniklerle elde edilen düşürüm performansı atık gaz sıcaklığı, ilave edilen soğurucu maddenin miktarı ve türü (veya daha kesin bir ifadeyle tepken madde ile kirleticiler arasındaki molar oran) ve soğurucu maddenin dağılımı gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Aşağıdaki tablo ve rakamlar çeşitli soğurucu maddeler ve proseslerle elde edilen verimlilik oranlarına ilişkin hesaplamaları yansıtmaktadır. Elde edilecek fiili değerler elbette olay bazında değişiklik gösterecektir; bu değerlerin hem altında hem de üstünde sonuçlarla karşılaşılmaktadır.

Torba filtrelerde meydana gelen soğrulma oranlarının farklılık içermesi ve Elektrostatik Çökticiler ve torba filtrelerin farklı işletme sıcaklıklarına sahip olması nedeniyle iki filtre tipi için geçerli rakamlar aşağıdaki Tablo 4.20'de ayrı ayrı verilmektedir. [tm41 VDI2578]

Kirleticisi	EP		Bez 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%

Tablo 4.20: Ca(OH)₂'ye yönelik kuru emilim verimlilikleri (ipucu niteliğindeki rakamlar)

Daha genel olarak, referans [tm48 ADEME SO_x] Ca(OH)₂'li kuru emilim sürecine yönelik aşağıdaki sonuçları verir.

Sıcaklık	SO _x azaltım oranı	
	130 - 140°C	170 - 180°C
Molar oran MR1 Ca/S =1	30%	22%
Molar oran MR1 Ca/S =2	50%	40%
Molar oran MR1 Ca/S =3	70%	55%

Tablo 4.21: Ca(OH)₂'li kuru gaz yıkamaya ilişkin SO_x azaltım oranları

Kuru fırçalamaya ek olarak MR1 molar oranı 4.1 olan ve yaklaşık 400°C sıcaklıkta 180 kg/saat Ca(OH)_2 kullanan bir Elektrostatik Çökelticinin kullanıldığı bir yüzdürme cam fırınında %65 oranında azaltma sağlandığı rapor edilmiştir. Tüm toz fırın içinde geri dönüştürülmektedir (Bkz Ek 1, Bölüm 8.2, Fırın FG6).

Soğurucu madde olarak Na_2CO_3 kullanılan kuru prosesle gerçekleştirilen uygulamalar aşağıdaki tabloda 300 °C ila 400 °C sıcaklık aralığı için özetlenmektedir. Verilen azaltım oranı aralıkları daha önce de ifade edildiği gibi büyük ölçüde sıcaklığa ve kullanılan soğurucu maddenin miktarına bağlıdır.

Kirletici	SOx azaltım oranı
SO2	<50%
SO3	90%
HCl	50-75%
HF	10-40%
SeO2	30-60%

Tablo 4.22: Na_2CO_3 'lü kuru gaz yıkamaya yönelik SOx azaltım oranları

Soğurucu madde olarak NaHCO_3 kullanılan en yeni tarihli uygulamaların sonuçları şu anda bilgi olarak kullanılabilir duruma gelmektedir. Gösterge soğurma oranlarının özellikle %90'a kadar SOx gideriminin mümkün olduğu düşük sıcaklık aralıkları için çok iyi olduğu rahatlıkla söylenebilir.

Yarı-kuru fırçalama cihazıyla teçhiz edilmiş fırın sayısı oldukça azdır. Torba filtreyle bir arada soğurucu madde olarak Na_2CO_3 çözeltisinin kullanıldığı durumlarda çok yüksek azaltım oranlarına ulaşılabildiği rapor edilmiştir. Bu sonuçlar aşağıdaki tabloda özetlenmektedir. Azami %95 oranında SO2 azaltımı mümkündür. Mevcut endüstriyel işletmelerde elde edilen azaltım oranı genellikle %80-90 aralığındadır.

Kirletici	SOx azaltım oranı
SO2	90-95%
HCl	>90%
HF	>85%
SeO2	>90%

Tablo 4.23: Na_2CO_3 çözeltili yarı kuru gaz yıkamaya yönelik SOx azaltım oranları

Daha genel olarak diğer endüstriyel uygulamalarda referans [tm48 ADEME SOx] aşağıdaki tablodaki sonuçları vermektedir. Ancak kireç kullanan yarı kuru uygulamalar genellikle cam endüstrisinde bulunmaz.

	SOx azaltım oranı
Molar oran MR1 Ca/S =1	80%
Molar oran MR1 Ca/S =1.5	90%
Molar oran MR1 Ca/S =2	92%

Tablo 4.24: Ca(OH)_2 'li yarı kuru gaz yıkamaya yönelik SOx azaltım oranları

Na_2CO_3 veya NaHCO_3 kullanılan yarı kuru proseslerde de NOx emisyonlarının olumlu şekilde etkilendiği rapor edilmiştir. NaHCO_3 için en uygun aralık 120-160 °C olup tepkimenin verimliliği SO_2/NOx molar oranına bağlıdır. Azaltım oranının yüksek SO_2/NOx molar rasyosunda en iyi düzeyde olduğu görülmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda NOx emisyon düşürümü çok daha düşük seviyededir. Cam endüstrisinde normal temsili koşullar altında NOx azaltım oranları üzerinde yalnızca orta seviyede bir etki gözlenmiştir.

Özetlemek gerekirse, elde edilen düşürüm seviyesi prosesle ve soğurucu maddeyle ilişkili bir dizi faktöre bağlıdır. Uygun koşullar altında yüksek azaltım oranları elde edilebilmektedir. Bu azaltım oranları SO₂ olarak ifade edilen toplam SO_x için en iyi durumda %95'e kadar çıkabilmektedir. SO₃ azaltım oranı genellikle %80'den fazladır.

Fiili emisyon konsantrasyonu veya cam kütle/tonu giriş konsantrasyonu ile kükürt giderme verimliliğine bağlıdır. Bu giriş konsantrasyonları aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

1. Yakıt kükürt girdisi.
2. Cam türü (renk, oksidasyon durumu ve kükürt içeriği).
3. Arıtma, kalite ve sülfat miktarına yönelik teknolojik gereksinimler.
4. Kırıntı miktar ve türü (dahili veya harici, kükürt ve kirletici içeriği).
5. Filtre toz bileşimi ve geri dönüşüm oranı.
6. Yakma koşulları (birincil tedbirlerle NO_x azaltımına yönelik stoikiyometrik yakmaya yakınlık ham atık gazdaki SO₂ içeriğini arttırabilir).

Ancak emisyonların tamamen düşürülmesi üretilen sülfatlı tozu ihtiva eden atık gaz akımının yok edilmesini gerektirmektedir (dahili veya harici geri dönüşüm veya düzenli depolama yöntemiyle). Düzenli depolama yönteminin tercih edilmesi durumunda arıtma maliyetinin duruma bağlı olarak bir ton cam için 0.5 ila 1.5 Euro arasında değişeceği hesaplanmaktadır.

Uygulamada bu sülfatlı atığı ihtiva eden filtre tozunun tamamen geri dönüştürülmesi teknik olarak mümkün olduğunda çok zaman makul bir çevresel ve ekonomik seçenek olarak kabul edilmektedir. Bu durumda SO_x emisyonlarının tamamen düşürülmesi (kütle dengesi kaygıları nedeniyle) filtre tozunun hammaddelerdeki sülfat yerine ikame edilmesiyle gerçekleştirilen kaynağında azaltma yöntemiyle sınırlıdır. Açıkçası, bu yöntem pratik olarak mümkün görüldüğünde /hurda cam dahil) tüm besleme malzemelerindeki sülfür seviyelerini optimum düzeye çekerek eriyikteki toplam sülfür girdisini azaltmak için başvuru uygun diğer birincil tedbirlere ilave olarak uygulanabilecek bir yardımcı tekniktir.

Bu nedenle asit gaz emisyonlarını düşürebilmek amacıyla, toplanan malzemenin belli bir kısmı için harici bir bertaraf güzergahı üzerine düşünmek gerekebilir. Harici geri dönüşüm veya yeniden kullanım seçenekleri düzenli depolamaya alternatif teşkil edebilir. Ancak bu metnin yazıldığı tarihte malzemenin harici olarak yeniden kullanımı için ekonomik olarak sürdürülebilir bir yöntem tanımlanmış değildir. Çevrenin bir bütün olarak en iyi şekilde nasıl korunacağı konusu çoğu durumda tesis sahasına özgü koşullar çerçevesinde ele alınması gereken bir mesele olabilmekte ve katı atık akımının bertarafı sorunu da bu konunun ayrılmaz parçasını oluşturabilmektedir. Böyle bir durum söz konusu olduğunda MET ile uyumlu emisyon seviyelerinin belirlenmesinde proses sülfür dengesi merkezi öneme sahip unsur olacaktır.

Kapalı devre filtre tozu geri dönüşümü yönteminde bugün gözlenen SO_x emisyon seviyeleri yukarıda belirtilen faktörlere de bağlı olarak doğal gaz ateşlemeli sistemler için genel olarak 200 - 800 mg/Nm³ aralığında iken %1 sülfürlü akaryakıt ateşlemeli sistemlerde 800 - 1600 mg/ Nm³ aralığında değişmektedir. Özellikle yüksek hurda cam geri dönüşüm oranına ve (söz gelimi yeşil ve kahverengi konteynır camları gibi düşürülmüş camlar gibi) düşük sülfür yükseltme kapasitesine sahip camlar için aralığın yüksek ucundaki değerler beklenmektedir. Cam endüstrisinde sülfür ihtiva eden tozun tamamen geri dönüştürüldüğü durumlarda net sülfürsüzleştirme verimliliğinin sıfıra yakın olduğu örnekler bulunmaktadır. Ancak bu durumlarda esas amaç sülfürsüzleştirme değil HCl, HF, metaller ve tozun giderimidir. Bununla birlikte, böyle durumlarda bile harici bertaraf amacıyla sülfatlı bir atık akımının oluşturulmasıyla daha düşük seviyelerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Böylece, cam endüstrisinde sülfürsüzleştirme seçeneği düşünülürken olası karşı etkilerin hesaba katılması ve diğer çevresel hedeflerin gözden kaçırılmaması da büyük önem taşımaktadır. SO₂ azaltımıyla ilgili en önemli çevresel hedefler şunlardır:

- yüksek kırıntı geri dönüşüm oranları
- dahili veya harici toz geri dönüşümü ile atık üretiminin en aza indirilmesi
- atık ısı geri kazanımı
- diğer atmosferik emisyon azaltımı

Hurda cam geri dönüşümü sağladığı enerji tasarrufu, atık azaltımı ve daha az doğal kaynak kullanımı gibi faydalar nedeniyle önemli bir çevresel hedeftir. Söz gelimi cam kap fırınları için Almanya’da hurda cam geri dönüşümü için öngörülen yasal kota %72’dir ve bu kota düzenli olarak geçilmektedir. Üretilen cama nazaran yüksek sülfür içeriğine sahip hurda cam kullanılırken yığından kaynaklanan aşırı sülfür SOx emisyonlarında artışa neden olur. Örneğin karışık tüketim sonrası hurda cam kullanan yeşil ve kahverengi düşürülmüş camlarda karşıma çıkan durum budur. Tüketim sonrası karışık hurda cam bazı durumlarda üreticilerin tek tüketim-sonrası hurda cam kaynağıdır ve bunun sülfür içeriği hurda cam karışımındaki oksitlenmiş cam (flint camı, düz cam ve belirli yeşil camlar) varlığı nedeniyle ürünün kendisinden daha yüksektir. Seçmeli hurda cam toplama ve ayıklama yöntemlerinde yaşanan gelişmeler bu durumu iyileştirecektir. Ancak belirli yeşil camlar gibi oksitlenmiş renkli camlar da oksitlenme durumları nedeniyle daha yüksek sülfür seviyesine sahip olabilirler. Ayrıca hurda camda bu tür camlar önemli oranda bulunuyorsa renk ayrımı uygulaması da hurda camın sülfür içeriğini azaltmakta daha az etkili olacaktır.

Filtre tozu geri dönüşümü de atık önleme amaçları bakımından önemli bir hedeftir. Filtre tozunun geri dönüştürülmesi yığın malzemesinde bulunan sülfatın bir kısmının ikame edilmesi sonucunu doğurur. Prensipte filtre tozu inceltme elemanı olarak iş görür ancak bazı durumlarda daha az etkin olabilmekte, %100 ikame hedefine ulaşmak da her zaman mümkün olamamaktadır. Farklı cam türlerine bağlı olarak (örneğin renk, oksitlenme durumu) filtre tozu sülfüründen kaynaklanan sülfatın soğurulması çeşitlilik göstermekte, kimi zaman da oldukça sınırlı olmaktadır. Filtre tozunun tam geri dönüşümü bağlamında ve yukarıdaki kaygılar göz önünde bulundurulduğunda sülfürün kütle dengesine özel dikkat gösterilmelidir. Ayrıca fırçalama ekipmanı da fırçalama elemanlarının uygun seçimine imkan verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Kurulu bulunan SOx fırçalama sistemlerinin büyük çoğunluğu verimli bir rejeneratif tip fırında elde edilen atık gaz sıcaklığı olan yaklaşık 400 °C’lik sıcaklık altında kuru kireç fırçalaması ile çalışmaktadır. Bu sıcaklıklarda yaklaşık %50 oranında bir SOx düşürümü sağlanabilmektedir. Yaklaşık 200 °C’de ve nemli bir atmosferde daha iyi SOx düşürümü elde edilebilmektedir. Bunun için suda çözünen emici bir maddenin (sorbent) torba filtrelerle bağlantılı olarak enjekte edilmesi gerekmektedir. Ancak bu yarı-kuru teknoloji atık gazların sıcaklığını genel olarak ikincil ısı geri kazanımına veya daha yüksek sıcaklık seviyelerini gerektiren (söz gelimi SCR veya hurda cam ön ısıtması) işlem sonrası uygulamalara uygun olmayan bir seviyeye düşürür. Bu durumlarda, tekniğin Cam Endüstrisindeki uygulamaları konusunda son derece sınırlı bir deneyim söz konusu olmasına rağmen konvansiyonel (veya “doğru”) yarı-kuru prosesin uygulanması da düşünülebilir. Bu ise sülfürsüzleştirme uygulamasından önce tüm etkileri, yan etkileri, maliyetleri ve öncelikleri (örneğin asitleştirme politikası, enerji politikası, atık politikası vb) kapsayan entegre bir analiz yapılması ihtiyacını gündeme getirir.

Sülfür soğurucu maddenin yüksek stokiyometrik oranına sahip olmasının işlem sonrası toz azaltma ekipmanı üzerindeki yükün artması anlamına geldiği de burada vurgulanması gereken bir husustur. Uygulamada, soğurma kapasitesinde elde edilecek sınırlı iyileşmenin teknolojik gerekliliklerle ve bu gelişmenin artan çökeltici kapasitesiyle birlikte getireceği ilave maliyetlerle dengelenmesi şarttır.

Mali Düşünceler

EP’ler ve bez filtreler ile birlikte gaz yıkama sistemlerine yönelik maliyetler Kısım 4.4.1.2 ve 4.4.1.3’de verilmiştir. Sodyum bikarbonat temelde diğer absorbanlardan daha pahalıdır ve daha az kullanılmıştır.

[tm29Infomil]’de EP ile 50000 Nm³/s oranındaki bir akışa yönelik sermaye maliyetlerinin faiz ve amortisman hariç olmak üzere 2.5 - 3.5 milyon euro artı 150000 euro/yıl işletim maliyetleri olarak hesaplanmıştır.

Taş yünü sektörü için standart bez filtre tekniğine ilave olarak kuru gaz yıkama maliyetleri yeni bir tesis için 0.6 to1.4 milyon euro’da ve mevcut bir tesis içinse % 20 daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Uygulanabilirlik

Prensip olarak, burada açıklanan teknikler asidik maddeler içeren atık gazları ilgilendiren (yeni ve mevcut) tüm proseslere uygulanabilir. Yüksek toz yükü nedeniyle toz gideriminin sağlanması teknik için hayati önem taşımaktadır. Kuru proses uygulamadaki teknik ve idari gerekliliklerin sağlanmasında en maliyet-etkin yöntem olduğu için Cam Endüstrisinde çok daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Yine en yaygın olarak kullanılan soğurucu madde $\text{Ca}(\text{OH})_2$, yani sönmüş kireçtir.

Bu tekniğin temel ilkeleri tesis büyüklüğüne bakılmaksızın her uygulama için ortaktır. Ancak ölçeğin ve dolayısıyla fiili maliyetin ve muhtemelen de maliyet etkinliğinin uygulamadan uygulamaya önemli farklılıklar gösterebileceği de mutlaka akılda tutulmalıdır. Özellikle küçük ölçekli proseslerde yarı-kuru fırçalama konusunda uygulama örnekleri sınırlı miktardadır.

İlgili Düşünceler

Teknikler gaz formundaki belli kirleticilerin; yani florların, klorların ve belli selenyum bileşiklerinin giderilmesinde etkilidir. Teknikler ayrıca diğer asidik emisyonların giderilmesinde de etkili olabilir ancak bu alandaki emisyon düşürüm seviyeleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Cam endüstrisindeki mevcut bazı uygulamalarda tekniklerin kurulması yönündeki en önemli motivasyon kaynağı toz azaltma ekipmanlarının korunması veya bazı durumlarda (sürekli filaman camı, cam hamuru) flor emisyonlarının giderilmesidir. Bunun dikkat çekilmesi gereken istisnası taş yünü imalatıdır. Pek çok durumda eğer toz veya flor azaltımına gerek duyulmuyorsa bu tekniklerin kurulmasındansa gaz ateşlemeli sisteme dönmek daha ekonomik bir tercih olacaktır.

Teknikler önemli miktarda katı artık madde üretmektedir; ancak çoğu uygulamada bu malzeme fırına geri dönüştürülebilmektedir. Özellikle yüksek oranda hurda cam kullanan petrol ateşlemeli fırınlarda sorunlarla karşılaşabilmektedir. Eğer soğurucu madde olarak sodyum karbonat kullanılıyorsa önemli miktarda sodyum sülfat ve sodyum karbonata ihtiyaç duyulacağı için soğurucunun kalsiyum oksit camda daha kolay geri dönüştürülür.

Düşük oranda hurda cam kullanılan durumlarda toplanan sülfat genellikle yeniden inceltme için ihtiyaç duyulandan daha az olacaktır. Bu durumda camda toplanan tozdan sülfür takviyesini artırmak mümkün olabilir. Sonuçta emisyonlar düşürülür ve sodyum sülfat tüketimi azaltılmış olur. Eğer toplanan sülfat yığında ihtiyaç duyulan sülfat miktarından düşükse bu durumda tesis sahası dışında bertarafı sağlamak üzere bir katı atık akımı oluşturulur. Alternatif olarak, eğer tüm malzeme ihtiyaç duyulandan daha büyük miktarlarda geri dönüştürülürse sistem bu durumda dinamik dengeye ulaşarak kapalı devre haline gelir. Böylece sülfür cama ve emisyon olarak atmosfere karışır. Yüksek oranda hurda cam kullanılan durumlarda sülfat inceltme elemanı ihtiyacı çok daha düşüktür ve camın daha fazla yükleme potansiyeli çok düşüktür. Bu nedenle mevcut tozun belli bir oranı giderilmedikçe SOx emisyonları yükselecek ve böylece SOx düşürümünün toplam verimliliği büyük ölçüde azalacaktır. Bu sorun yüksek oranda hurda cam kullanılan düşürülmüş cam üretiminde sıkça karşılaşılan bir durumdur.

Uygulamada, eğer böyle bir durumun ortaya çıkması tehlikesi varsa geri dönüştürülemeyecek bir tozun bertaraf edilme masrafları daha düşük sülfür ihtiva eden yakıtların maliyetinden daha yüksek olacaktır. Bu nedenle çoğu durumda bir operatör bertaraf amacıyla katı atık akımı yaratmaktansa kullandığı yakıtı değiştirmeyi tercih edecektir. Ancak düşük sülfürlü yakıt ile (özellikle doğal gaz) diğer yakıtlar arasındaki yüksek maliyet farkı bu tür bir tercihi ekonomik olarak itici kılabilir.

Eğer soğurucu madde olarak kalsiyum hidrat kullanılıyorsa pek çok cam kompozisyonunda geri dönüştürülebilecek kalsiyum miktarının bir sınırı olacaktır. Filtre tozunun telafisi amacıyla yığın bileşiminde normal olarak bazı düzenlemeler yapılacaktır ancak yüksek hurda cam oranına sahip yığınlarda yığının bu şekilde düzenlenme imkanı kısıtlıdır. Yüksek hurda cam içeren yığınlarda kalsiyum içeriği camda tolere edilebilecek oranın üzerinde olabilir, bu da bir katı atık akımına yol açacaktır. Böyle bir durumda başvurulabilecek çözümlerden biri soğurucu maddede değişiklik yapmak ve sodyum karbonat veya bikarbonata veya farklı soğurucuların bir karışımına dönmektir.

Yüksek hurda cam geri dönüşüm oranlarına sahip bölgelerde çeşitli bileşiklerin seviyeleri sürekli olarak geri dönüştürülen camda biriktiğinden sistem kapalı devre bir sistemin de ötesine geçer. Bu durum sülfür için olduğu kadar metaller, florlar ve klorlar için de bir sorundur.

Toplanan malzemenin hacminin geri dönüşüm sürecinin önünde bir problem teşkil ettiği durumlarda soğurucu maddenin bir kısmını yeniden kullanarak toplam hacmi azaltmayı sağlayan teknikler mevcuttur. Toplanan tozun uyumsuz formülasyonuna ilişkin sorunlar genellikle önemli bir mesele değildir. Bu tür sorunlar dikkatli bir analizle veya eğer gerekiyorsa malzemenin geri dönüşüm öncesinde stoklanıp harmanlanmasıyla ortadan kaldırılabılır.

Taş yünü üretiminde SO_x düşürümü yakma işleminden sonra, filtre sisteminden önce gerçekleşmelidir. Bazı mevcut uygulamalarda filtre sistemi temiz gazın işlenmesi için tasarlanan yakıcıdan önce gelecek şekilde konumlandırılır. Bu durumlarda tekniğin mevcut tesislere kurulumundan önce yakıcıda gerekli değişikliklerin yapılması veya ikinci bir filtre sisteminin kurulması gerekir. Bu seçeneklerin ekonomisi kullanılan atık gaz sistemi konfigürasyonuna bağlıdır. Yapılacak değişiklikler maliyeti önemli ölçüde artıracak olup yukarıda incelenen maliyet aralığının yüksek kısmında yansımaları bulacaktır. Yarı kuru proses bu sektörde ekonomik olarak sürdürülebilir bir süreç olarak görülmemektedir.

Malzemenin fırına geri dönüştürülmesi taş yünü proseslerinde diğer sektörlerle göre daha zordur; çünkü proses sülfat ilavesini gerektirmemekte ve eriyikte sülfür takviyesi düşük seviyededir. Bu nedenle kirletici maddenin büyük kısmı yeniden geri salınacaktır. Bunun anlamı toplanan atığın bir katı atık akımı olarak bertaraf edilmesi veya eğer mümkünse ekonomik olarak değerlendirilmesi gerektiğidir. Geri dönüşüm uygulaması taş yünüde kullanılacak soğurucu maddenin seçimini de kısıtlar. Ürün çok düşük soda seviyelerini gerektirdiğinden sodyum karbonat ve sodyum bikarbonat ancak toplanan malzeme geri dönüştürülüyorsa kullanılabilir.

Hollanda'da denenen alternatif bir teknikte ise SO_x soğurularak sülfürik asit üretilmekte, bu da bir yan ürün olarak piyasaya satılmaktadır. Sülfürik asidin verimli bir şekilde üretimi için sülfürik asit tesisinde katalizör sistemine giren SO₂'nin yüksek bir konsantrasyona sahip olması gerekmektedir. Bu koşul bu olayda yerine gelmektedir; çünkü tesis sahasında altı kupola işletilmektedir. Bunlardan beşi kuru fırçalama ile teçhiz edilmiş olup toplanan malzemenin tümü altı kupolada geri dönüştürülmektedir. Makulün ötesinde yüksek maliyetlere neden olan ve süreklilik arz eden işletme sorunları nedeniyle beş yılın sonunda bu teknikten vazgeçilmiştir. Teknik ne yazık ki en azından bu olay bazında uygulanabilir olmadığı ortaya konulmuş olan ve bu nedenle en azından şimdilik geçerliliği kanıtlanmış olarak düşünülemeyecek yenilikçi bir yaklaşımı temsil etmektedir. Ancak karşılaşılan teknik güçlüklerin ilerideki uygulamalarda çözüme kavuşturulması muhtemeldir. Yine de tekniğin ekonomik sürdürülebilirliği ayrıntılı bir şekilde incelenmeye muhtaçtır.

Taş yünü imalatında kuru ve yarı-kuru fırçalamaya alternatif olarak ileri sürülebilecek bir teknik venturi fırçalama sistemidir. Bu sistemde iyi SO_x giderim etkinliğine (%90-95) ulaşılmış olmakla birlikte teknik toz gideriminde torba filtreden daha düşük verimliliğe sahiptir. Ayrıca sulu atık ortaya çıkmakta ve malzemenin geri dönüştürülmesi de zahmetli olmaktadır. Bu tekniği 20 yıldan uzun bir süredir başarılı bir şekilde uygulayan az sayıda tesis vardır. Bu fırçaların tekniğin bugünkü uygulamasında tercih edilen seçenek olmadığı genel olarak kabul görmüş olmakla birlikte mevcut bulundukları yerde sürekli olarak kullanımları bir MET yaklaşımı oluşturmaya adaydır.

Faydalar

- SO_x emisyonlarında ciddi azaltımlar sağlanabilir (spesifik kükürt dengesi ile geri dönüşüme bağlı olarak).
- Diğer maddelerin azaltılan emisyonları (kloridler, floridler, selenyum bileşikler, borik asit gibi diğer asitler).
- Çoğu durumda toplanan toz yeni ham maddelerin tüketimini azaltarak geri dönüştürülebilir.

Zararlar

- Teknik enerji tüketir.
- Geri dönüştürülemediği takdirde atık seviyelerini yükseltecek katı bir artığın meydana gelmesine sebep olur.
- Çoğu durumda geri dönüştürülebilir olmakla birlikte bunun için proseste düzenlemeler yapılmasına gerek vardır ve bu da toplam SO_x düşürüm verimliliğini sınırlandırabilir.
- Teknik yüksek sermaye ve işletim maliyeti getirmektedir.

Tablo 4.25: Kuru ve yarı kuru gaz yıkamanın ana fayda ve zararları**Örnek Donanımlar**

Bu tekniklerin kullanıldığı çok sayıda örnek bulunmaktadır. Özellikle elektrostatik bir çöktirici veya torba filtrenin de birlikte kullanıldığı kuru proses başta gelmektedir. Almanya’da kurulu bulunan ve ikincil toz azaltım uygulamasına sahip fırınların büyük kısmı bu tekniklerden yararlanmaktadır.

4.4.4 Floridler (HF) ve Kloridler (HCl)

Bu bölümde gaz formundaki tüm florlar ve klorlar sırasıyla hidrojen florür (HF) ve hidrojen klorür (HCl) olarak ifade edilmektedir. Salınan halidlerin büyük kısmı bu formlardadır. HF ve HCl emisyonları yığın malzemelerindeki katışıklardan veya seçilen yığın malzemelerinden kaynaklanmaktadır; çünkü bunlar bu türleri istenilen ürün kalitesini uygulamak için yeterli miktarda içermektedir.

4.4.4.1 Kaynağında Azaltım

Çoğu süreçte HF ve HCl emisyonları eritmede yayılan harman materyallerini katışıklıklarından meydana gelir. Çoğu ham madde çok düşük seviyede florin ve klorin içerirki bunlar nihai emisyon seviyeleri üzerinde çok az etkiye sahiptirler. Ancak bazı ham maddeler yüksek düzeyde katışıklık ihtiva ederler. Bu türden ana maddeler:

- İnsan yapımı soda külü, yaklaşık % 0.05 ile 0.15 arasında NaCl içeriğine sahiptir.
- Dolomit, önemli florid katışıklıkları içerebilir.
- Tüketici sonrası cam kırıntıları.
- Azaltım ekipmanından geri dönüştürülmüş tozlar sistemde biriken florid ve klorid tuzları içerirler.
- Bazı yakıtlar (örneğin belirli kaynaklardan alınan kok) klorid içerebilir.

Yığında yüksek düzeyde soda külü (başta kalsiyum oksit camı) içeren bu süreçlerden kaynaklanan klor emisyonları örneğin cam yünü veya sürekli filaman cam elyafından önemli ölçüde yüksektir (bkz, Bölüm 3). Bu malzemeleri yığın içinde bilinçli olarak ihtiva etmeyen proseslerden en yüksek HCl ve HF emisyonuna neden olma eğilimindekiler düz ve konteynır cam prosesleridir.

Asit gaz yıkama evresinin ana amaçlarından biri de çoğunlukla EP'ye yönelik gazı tavlama; ayrıca daha düşük toplam asit gaz emisyonları ile sonuçlanabilir. Şayet gaz geri dönüştürülürse, asit gazların bazıları yeniden yayılacaktır.

Emisyon seviyeleri dikkatli bir hammadde seçimi ile minimize edilebilir. Soda külündeki NaCl seviyelerine ilişkin konular Bölüm 4.4.1.1'de ele alınmaktadır. Yine Bölüm 4'te inceleme konusu edilen diğer tekniklerden bazıları HF ve HCl emisyonları üzerinde olumlu etkilere sahiptir. Bunlar esas olarak sıcaklığı düşürerek, hava akımını sınırlandırarak ve türbülansı minimize ederek uçuculuğu azaltan tekniklerdir. Bu teknikler;

- Sıcaklığı ve enerji kullanımını azaltan ve soda yerine ilgili klor katışımını ikame eden artırılmış hurda cam kullanımı,
- Eğer hurda cam yüksek HCl veya HF seviyesine sahipse potansiyel bir paradoksal etki söz konusudur.
- Elektrikli yükseltme
- İyileştirilmiş fırın tasarımı ve geometrisi
- Brülör konumlandırma
- Düşürülmüş hava yakıt oranı
- Düşük NO_x brülör sistemleri
- Oksi-yakıtlı ertitme
- Elektrikli ertitme

Cam Endüstrisinde imal edilen ürün tiplerinden bazıları malzeme özelliklerini sağlamak için florür ihtiva eden malzemeler kullanılmaktadır. Bunun en önemli örnekleri aşağıda incelenmektedir.

Sürekli Filament Fiberglas

Sürekli Filaman Cam Elyafı imalatı genellikle florür kullanımını gerektirir. Yüzey gerilimini ve likidite özelliklerini optimum seviyeye getirmek, elyaflaşmaya yardımcı olmak ve filaman kırılımını en alt seviyeye çekmek için florür takviyesi yapılır. Bunlar prosesin ekonomik ve çevresel performansında önem taşıyan faktörlerdir. Yüksek kırılma dayanımı üretimin azalmasına ve atık miktarının artmasına sebep olur. Ana florür kaynağı genellikle florspat (CaF_2) olup kaolen (alüminyum silikat) içinde önemli miktarlarda bulunur.

Florin ilavesini gerektirmeyen formüllerin geliştirilmesi için büyük çabalar harcanmış olup bazı durumlarda da bu çabalar etkili olmuştur. Bazı şirketler kullandıkları fırınların pek çoğunda florin ihtiva etmeyen bir yığın formülünden yararlanmayı sağlayan yöntemler geliştirmişlerdir. Bir başka şirket ise benzer şekilde florin veya boron ihtiva etmeyen bir yığın kullanma tekniği geliştirerek toz emisyonlarını 50 mg/Nm^3 , HF emisyonlarını ise $10 - 50 \text{ mg/Nm}^3$ aralığına düşürmeyi başarmıştır. Bu tekniklerin optimizasyonu fırın tasarımında değişiklikler yapmayı gerektirebilmekte ve yeniden inşa edilen bir fırında çok verimli olarak uygulanabilmektedir.

Düşük florin ve düşük boron içeren camlarda gerçekleşen gelişmeler çok pahalı bir geliştirme çalışmasının sonucu olup bu teknolojiler geliştirici firmalar tarafından sıkı bir şekilde koruma altında tutulmaktadır. Bu nedenle teknik tüm operatörlerin kullanımına açık değildir. Ayrıca formülasyonda değişiklik yapılmasını gerektiren yeni ürünler için yerine getirilmesi gereken uzun ve pahalı ürün tescil prosedürleri de vardır.

Cam Hamuru İmalatı

Florid emisyonları yığında flor kullanılmasıyla doğrudan ilişkilidir. Florür ağırlıklı olarak enamel hamurlarının üretiminde kullanılır ve seramik hamuru imalatında kullanılan hammaddelerde genellikle büyük miktarlarda bulunmaz. Bazı seramik hamuru üreticileri seramik hamuru fırınlarını kullanarak belli aralıklarla küçük miktarlarda enamel hamuru üretmektedir. Böylece florür emisyonları ortaya çıkmakta, ancak bu emisyonlar operatörün toplam üretimi içinde çok küçük bir orana karşılık gelmektedir. Florür emisyonları çok büyük bir olasılıkla enamel hamuru imalatının en önemli çevresel etkisini teşkil etmektedir.

Florürler tamamen cam hamuruna özgül olan geliştirilmiş ısı ve kimyasal direnç ve düşük enamel kaplama kabarması riski gibi özellikleri sağlamaktadır. Bunlar yığına florspat, florsilikat, kirolit veya sodyum florsilikat olarak eklenmektedir. Günümüzde çoğu imalatçı firma florürsüz veya düşük florür ihtiva eden enameller üretmekte olup bu ürünlerin piyasada bulunabilirliği de her geçen gün artmaktadır. Bu belgenin yazıldığı tarihte florürsüz ürünler sektördeki toplam üretimin %10'undan azını meydana getirirken düşük florür içeren ürünlerin oranı %30 civarındadır. Yığındaki florür genellikle fırçalama teknikleri ile veya diğer hamur türleri ile karşılaştırılabilir emisyon seviyelerine ulaşmaya izin verecek yeterlilikte düşürülemez.

Opak Camlar

Opak camlar Evsel, Özel ve nadiren de Cam kap Sektörlerinde üretilmektedir. Florür takviyesi camda kristalleşmeye neden olarak bulutlu ve opak bir görünümün oluşmasını sağlar. Bu ürünleri imal eden tesislerin büyük çoğunluğu HF emisyonlarını artırmak için kuru fırçalama tekniklerini kullanmaktadır. Karşılaştırılabilir kalitede üretim sağlayacak herhangi bir uygulanabilir alternatif bulunmamaktadır. Pek çok durumda opak cam soğuk elektrik fırınlarında eritilir. Florürün önemli bir kısmı yığın örtüsünce soğrulduğu ve daha az florüre gereksinim duyulduğu için bu uygulama emisyon seviyesini azaltır. Ayrıca elektrikli eritme kullanımı artırılması gereken atık gaz hacmini de önemli ölçüde azaltır.

Özel Cam Sektörü ayrıca kalın florür camlar da üretmektedir. Bunlar yüksek florür ihtiva eden optik ürünlerdir. Bu camın üretim seviyesi oldukça düşüktür ve AB'de her zaman atık gaz arıtımıyla gerçekleştirilir.

Genelde atık gaz arıtımında kaynağında azaltma hedefine yönelik tedbirler tercih edilir. Florür ihtiva eden camlarda florür seviyesini azaltmaya yönelik tedbirler işletme koşulları üzerinde önemli kısıtlamalar oluşturabilir ve önemli geliştirme kaynaklarının kullanılmasını zorunlu kılar. Mevzuatın emisyon azaltma tedbirlerinin uygulanmasını şart koştuğu durumlarda pek çok üretici atık gaz arıtımını ve özellikle de kuru fırçalama tekniğini tercih etmeye eğilimlidir.

4.4.4.2 Gaz Fırçalama Teknikleri

Bu emisyonlara uygulanabilen en önemli fırçalama teknikleri kuru ve yarı-kuru fırçalama teknikleridir. Bu teknikler ve bu teknikler kullanılarak elde edilebilecek emisyon seviyeleri yukarıda Bölüm 4.4.3.3.'te incelenmiştir. Bu tekniklerde soğurucu madde seçimi büyük önem taşımaktadır ve bazen SO₂ emisyonu azaltımı ile HF ve HCl emisyonu azaltımı arasında bir denge gözetmeyi gerektirir. Özellikle HCl / HF ile SO₂ arasında sodyum karbonat tepkimesi konusunda bir rekabet vardır. Bu durumda optimum seçim farklı kirletici maddelerin atık gazdaki bağlı seviyelerini de içeren bir dizi konuya bağlıdır.

Çok küçük ölçekli proseslerde (örneğin bazı cam hamuru fırınlarında) teknik ve ekonomik olarak sürdürülebilir bir başka teknik ıslak fırçalamadır. Bu teknikte suyu veya daha verimli olarak bir alkali çözeltisini devri daim ettiren bir yatak dolgu fırçası kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın ana çekincesi ise üretilen sulu atık akımıdır.

4.4.5 Karbon Oksitler

Karbon oksitler karbon dioksit (CO₂) ve karbon monoksit (CO) içerirler. Karbon monoksit eksik yanma ürünü olarak meydana gelir ve çevresel endişelere neden olacak düzeyde Cam Endüstrisinden nadiren yayılırlar. Bazı taş yünü kupola fırınlarında ciddi seviyelere rastlanır. Karbon dioksit ise fosil yakıtların veya diğer organik materyallerin yanmasından meydana gelir.

Soda külü ve kireç taşı gibi karbonatlar cam üretimindeki en önemli alkali metal oksit ve alkali toprak metali oksit kaynaklarıdır. Bu oksitlerin tek gerçek alternatifi olan kaynaklar tüketim sonrası atık ve proses atığıdır. Bu ise cam süreçlerinde hurda cam, madeni yünde ise proses atıkları, geri dönüştürülmüş ürün ve cürufur (yalnızca taş yünü için). Bu malzemelerle ilgili konular bu belgenin çeşitli bölümlerinde ele alınmakla birlikte bunların kullanımını sınırlandıran en önemli etmen uygun kaliteye ve tedarik uyumluluğuna sahip yeterli miktarda malzemenin bulunmuyor olmasıdır. Bu maddelerin yüksek miktarda kullanımı genellikle cam kap ve taş yünü prosesleriyle sınırlıdır.

Karbon dioksitin iyi bilinen ilişkili çevresel etkileri vardır ancak Direktif 96/61/EC Ek III'de sıralanan ana kirlenici maddelerden biri değildir. Cam Endüstrisinde geri dönüştürülmüş malzemelerin giderek artan ölçüde kullanımının en önemli nedeni enerji tasarrufu ve atık azaltımı gereksinimleri ile karbonlu malzemelerin ikame üzerindeki etkisinin bir katma değer yaratmasıdır. Benzer şekilde, yakıt kullanımının azalmasıyla CO₂ emisyonlarının düşmesini teşvik eden en önemli unsurlar da enerji kullanımını ve işletme maliyetlerini azaltma ihtiyacı ile NO_x emisyonlarının düşürülmesi yönündeki baskılardır.

Bu bölümde ele alınan çoğu teknik CO₂ emisyonlarına yönelik önemli ipuçlarına sahiptir ancak enerji ve diğer kirlenicilere için ele alınanların ötesinde hiçbir teknik Cam Endüstrisi donanımlarında MET belirlenmesinde değerlendirilmek üzere sunulmamıştır.

4.5 Ergitmesiz Faaliyetlerden Havaya Gerçekleşen Emisyonların Kontrolüne Yönelik Teknikler

Bu bölüm ergitmeyle veya malzeme işlemeyle ilgili olmayan faaliyetleri kapsamaktadır. Bu faaliyetler ürün oluşturmayı ve ürünler üzerinde gerçekleştirilen ve genellikle ana prosesin bir parçasını teşkil ettiği düşünülen her türlü faaliyeti içermektedir. Cam Sanayinde gerçekleştirilen faaliyetlerin büyük kısmında hammaddelerin ergitilmesi ilk önemli faaliyet olup bunu izleyen faaliyetler de bu belge kapsamında yer yer “işlem sonrası” faaliyetler olarak anılmaktadır.

İşlem sonrası faaliyetlerin son derece sektöre özel bir nitelik arz etmesi sebebiyle buradaki inceleme de sektörel bazda sunulmaktadır.

4.5.1 Cam kap

Cam kap üretiminde ergitme dışı faaliyetlerden havaya gerçekleşen emisyonların ana kaynağı sıcak son kaplama işlemidir. Çok ince bir metal oksit tabakası olan kaplama şekillendirme makinesinden gelen sıcak konteynirlerin kalay veya titanyum bileşenleri içeren bir buhar davlumbazından geçirilmesiyle uygulanır. Bu işlemde en yaygın olarak kullanılan malzemeler anhidrit (susuz) kay tetraklorid (SnCl₄), anhidrit titanyum tetraklorid (TiCl₄) ve monobitil kalay kloriddir (C₄H₉SnCl₃). Emisyonlar HCl, aksi-kloridler, ince partikül olarak kalay ve titanyum oksitler (SnO₂, TiO₂) ve her tür tepkimesiz kaplama malzemelerinden meydana gelir. Ayrıca soğuk kaplama işlemlerinden önemsiz seviyede VOC emisyonu da kaynaklanabilmektedir. Bu emisyonların çok önemli olduğu düşünülmektedir ve bu nedenle bu belge içinde daha ileri boyutta ele alınmayacaklardır.

Emisyonların azaltılmasında uygulanacak ilk adım kullanılan kaplama malzemesinin ürün gerekliliklerine uygun ölçüde minimize edilmesidir. Malzeme kullanımı uygulama alanlarının muhtemel kayıpları azaltacak şekilde kapatılması sağlanarak optimum seviyelere çekilebilir.

Atık gazların ele alınmasıyla ilgili olarak hali hazırda uygulanagelmekte olan dört ana seçenek bulunmaktadır:

- (a) Atık gazın çıkarılarak iyi bir yayılıma sahip olması temin edilerek doğrudan atmosfere salınması,
- (b) Atık gazın çıkarılarak söz gelimi sulu fırçalama benzeri ikincil tekniklerle arıtılması,
- (c) Atık gazın fırından gelen atık gazla birleştirilmesi ve
- (d) Atık gazın fırındaki yakma havasıyla birleştirilmesi.

(a) seçeneği emisyonların azaltılması konusunda herhangi bir fayda sağlamadığından burada kapsamlı bir şekilde ele alınmayacaktır. Ancak emisyon seviyesinin çok düşük olduğu durumlarda bu yaklaşım bazı hallerde düşünülebilir. (d) seçeneği NO_x ve toz emisyonlarının minimize edilmesinde başvurulacak kimi birincil kontrolleri sınırlandırabilmektedir ve cam kimyası üzerindeki olası etkileri çok önemli olmamakla birlikte düşünülme zorunda kalınabilir. Bu yaklaşımın bilinen bir örneği yoktur ancak kimi durumlarda uygun olabilir.

(c) seçeneği atık fırın gazının ikincil azaltıma tabi tutulduğu durumlarda uygun olabilir. Toplanan malzemenin geri dönüştürüldüğü durumlarda metallerin cam üzerindeki etkilerinin ve sistemde klorid inşasının göz önünde bulundurulması zorunluluğu söz konusu olabilir. Bu zorunluluklar ise bazı durumlarda tozun geri dönüşümünü sınırlandırıcı bir etki ortaya çıkartabilir. İkincil azaltım uygulamasına başvurulmayan hallerde bu yaklaşım yalnızca emisyonlarda bir seyrelemeye tekabül eder.

Bu belgenin başka yerlerinde de dile getirildiği üzere, sulu fırçalama işlemi gazlı emisyonların azaltılmasında etkili olabilir ancak bunların etkinliği ince tozların arıtımı söz konusu olduğunda sistem genelindeki basınç düşmesi nedeniyle belli bir seviye ile sınırlıdır. Buradaki performans giriş kompozisyonuna bağlı olacaktır; ancak yerel gereklilikler ile uyumluluğun sağlanabilmesi için tek kademeli bir fırça yeterli olabilir. Eğer daha fazla azaltım arzu ediliyorsa dolgu yatak fırçasından sonra ya bir torba filtre veya ventüri yıkayıcı gelmelidir. Bu tekniklerin HCl seviyesini 10 mg/Nm³ seviyesinin altına, partikülleri 5-10 mg/Nm³ aralığına, toplam metalleri ise 1-5 mg/Nm³ aralığına düşürmesi beklenebilir. HCl'nin aerosol olarak bulunduğu durumlarda emisyonların 30 mg/Nm³ seviyesinin altına düşmesi beklenebilir. Bu alternatif yöntemlerin maliyeti atık gaz hacmine bağlı olacaktır. Daha az sofistike yöntemler uygulandığında yerel koşullar karşılaştırılabilir seviyelerde azaltım sağlanmasına da izin verilebilir. Eğer daha fazla azaltım arzu ediliyorsa dolgu yatak fırçasından sonra ya bir torba filtre veya ventüri yıkayıcı kullanılabilir.

4.5.2 Düz Cam

Genel olarak, düz cam üretiminde ergitme dışı faaliyetlerden kaynaklanan havaya yönelik emisyonlar çok düşüktür ve azaltım tedbirlerinin uygulanmasını gerektirmez. Eğer yüzdürme banyo doğru bir şekilde uygulanırsa kayda değer bir kalay buharı emisyonu meydana gelmeyecektir. Cam fırınının başında SO₂ kullanılır ancak yine eğer süreç düzgün bir şekilde çalışırsa ortaya çıkacak emisyonlar ihmal edilebilir seviyede kalcaktır. Bunların dışındaki olası tek emisyon tipi cam fırınındaki doğal gaz ısıtıcılarından kaynaklanan yanma ürünleridir. Bunun istisnası ise çevrim içi kaplama süreçlerinin gerçekleştirildiği durumlardır. Bu süreçlerden kaynaklanan emisyonlar son derece olaya özgü nitelik arz etmekte olup kullanılabilecek teknikleri tanımlamak amacıyla gerçek hayattan bir örnek verilmektedir.

Bu kaplama sürecinde kullanılan hammaddeler: Kalay tetra-klorid (SnCl₄), hidro-florik asit (HF), metanol (CH₃OH) ve silandır (SiH₄). İki ayrı kaplama safhası bulunmaktadır: Bir SiCO astar ve bir florin katkılı kalay oksit son kat kaplaması. Astar safhasından kaynaklanan emisyonlar bir ısı yakma fırınından geçerek her tür organik maddeyi ortadan kaldırır, atık gaz soğutulur ve katılar (amorfsil) bir torba filtre tarafından temizlenir. Toplanan malzeme fırına geri dönüştürülür.

Son kat kaplama safhasında ise halojenürleri ve kalay bileşiklerini ihtiva eden atık gazlar yüksek sıcaklıktaki bir reaktör içinden geçerek kalay bileşiklerini okside eder. Katı kalay oksit elektrostatik bir çöktürücü vasıtasıyla, halojenürler ise dolgu yataklı kimyasal fırçalayıcı içinde ortadan kaldırılır.

Böylece elde edilen emisyon seviyeleri:

Partiküler için	15 mg/Nm ³
Hidrojen Klorür için	5 mg/Nm ³
Florür ve florürün HF olarak gazlı bileşikleri için	<1 mg/Nm ³
Metaller için	<5 mg/Nm ³

Bu tip faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar genel olarak aşağıda listesi verilen tekniklerin kombinasyonu vasıtasıyla kontrol edilebilir. Bazı durumlarda ise eşit derecede etkin başka tekniklerin kullanımı uygun olabilir.

- Toz azaltma ekipmanı olarak torba filtre veya torba filtre daha düşük seviyede emisyon üretmesine rağmen (1 - 5 mg/Nm³) EP.
- Yukarıda sayılan teknikler kuru fırçalama ile kombine edilebilir.
- Sulu kimyasal fırçalama.
- Yüksek sıcaklık oksidasyonu, ısı yakma veya benzeri.

Maliyetler çalışma sahasına özgü olmakla birlikte genel olarak elde edilen sonuçlarla orantısız olacağı kabul edilmektedir.

4.5.3 Sürekli Filaman Fiber-glas

Bu sektörde ergitme dışı faaliyetlerden kaynaklanan havaya yönelik emisyonlar esasen dört ana kaynaktan ileri gelmektedir:

- Fiber malzemelere kaplama uygulaması,
- Kalıp kurutma,
- Kesme ve öğütme,
- İkincil işlem.

Kaplama uygulamasından havaya yönelik emisyonlar kaplama malzemesinin düşük volatilitesi ve uygulama noktasındaki düşük cam sıcaklıkları nedeniyle genellikle çok düşük seviyededir. Bunun önemli bir özelliği düşük organik solvent içeriğine sahip kaplama malzemelerinin tercih edilmesidir. Ancak ya solvent veya meydana gelen tepkimelerin yan ürünleri olarak bazı uçucu türler ortaya çıkacaktır. Kullanılan kaplama malzemeleri ürünler ve tesisatlar arasında geniş bir farklılık gösterir. Bununla birlikte emisyonların azaltılmasında en etkili yöntem malzeme seçimidir. Camı soğutmak için yüksek hacimde havaya ihtiyaç duyulması VOC emisyonlarının ikincil tedbirlerle kontrolünü çok güç hale getirir.

Yüksek hava akımları damlacıkların taşınmasına ve mevcut VOC'ların uçuculuğunun artmasına neden olmaktadır. Atık gazın kontrolünde sıkça sulu fırçalama sistemleri kullanılmakla birlikte bunun uçucu maddeler üzerindeki etkisi yoğunlaşma ile sınırlanmaktadır. Sulu elektro-statik çökticiler bu uygulamada kullanılabilir ancak buna ilişkin bilinen bir örnek yoktur. Sulu fırçalama ve sulu elektrostatik çökticilerin maliyeti Maden Yünü Sektöründe bahsedilenlerle aynı seviyede olacaktır. Erişilen emisyon seviyeleri tamamen olaya özgü başlangıç seviyelerine bağlı olacaktır. Bazı azami rakamlar Bölüm 3'te verilmektedir.

Islak kalıplar genellikle fırınlarda kurutulmaktadır ve bu sıcaklıklarda uçucu olan türler su buharıyla birlikte salınacaktır. Genelde malzemelerin molekül ağırlığı son derece yüksektir herhangi bir uçucu maddenin önemli bir kısmı kaplama uygulaması sırasında salınmış olacaktır. Emisyon seviyeleri hakkında elimizde çok az bilgi mevcuttur (bkz, Bölüm 3) ve hali hazırda emisyonları minimize etmek için kullanılan tek teknik malzeme seçimidir. Atık gaz hacimleri çok küçüktür ve önemli miktarda salınım tanımlıysa örneğin yakma, soğurma ve fırçalama benzeri standart kontrol teknikleri kullanılabilir. Bu uygulamada bu tekniklerin maliyetine ilişkin herhangi bir bilgi mevcut değildir ancak düşük gaz hacimleri söz konusu olduğunda bu tür teknikler hali hazırda kullanılabilir. Bununla birlikte bu tür emisyonların kontrolü için herhangi bir azaltma tekniği kurulmadan önce kaplama formülasyonunun optimize edilmesi her zaman en tercih edilebilir yöntem olacaktır.

Kesme ve öğütmeden kaynaklanan toz emisyonları bir filtre sistemine aktararak kolaylıkla arıtılabilir. Bu tüm sektörde kullanılan standart teknik olup 1-5 mg/Nm³ aralığındaki emisyon seviyelerine ulaşmayı mümkün kılmaktadır.

İkincil işlem daha fazla kaplama veya bağlama malzemesi kullanılmasını gerektirebilir. Emisyonlar son derece olaya özgü bir nitelik arz etmektedir ve eğer birincil tedbirler istenilen performans seviyesinin elde edilmesini sağlamakta yetersiz kalıyorsa standart VOC ve eser gaz azaltma tekniklerine başvurulabilir.

4.5.4 İç Cam

İç cam süreçlerinin büyük kısmında fırın sonrası faaliyetlerden kaynaklanan emisyonlar önemli seviyede değildir. Ateş perdahı için ve tav fırınında doğru cam sıcaklığının muhafaza edilmesi için bir dizi yakma sistemi kullanılmakta ancak spesifik kontrol tedbirlerini gerektiren herhangi önemli bir emisyon ortaya çıkmamaktadır. Bu durumun istisnası ise perdah ve kesme işlemini gerektiren maddelerin, özellikle yüksek değerli kurşun kristali, kurşun kristal ve kristal cam ürünlerin imalatıdır.

Kesme işlemi boş cam maddeler üzerinde elle veya otomatik olarak elmas emdirilmiş tekerlekler kullanılarak hassas kalıplar oyulmasını gerektirir. Köşe bileme benzeri başka öğütme ve kesme faaliyetleri de gerçekleştirilebilir. Kesme işleminde ve toz emisyonlarının önlenmesinde soğutucu olarak genellikle su kullanılır. Soğutucudan kaynaklanan buğunun ortadan kaldırılması için ekstraksiyon yöntemine de başvurulabilir. Bu faaliyetlerin sıvı bir soğutucu ile gerçekleştirildiği durumlarda ekstraksiyon sisteminde buğu yok edicisine ihtiyaç duyulsa bile havaya yönelik önemli bir emisyon gerçekleşmez. Eğer kesme veya öğütme işlemleri yürütülüyorsa toz çıkartılarak etkili bir torba filtre sisteminden geçirilerek toz emisyonları 1 ila 5 mg/Nm³ aralığına çekilebilir.

Cam kesme işlemi cam üzerinde gri, tamamlanmamış bir yüzey meydana getirir. Cam yüzeyi hidro florik ve sülfürik asitten meydana gelen bir perdah banyosuna daldırılarak orijinal görünümü geri kazanılır. Perdah banyosu yüzeyinden HF ve SiF₄ emisyonu gerçekleşir. B emisyonların arıtımı için başvurulabilecek en etkin yöntem genellikle ya suyla ya da kimyasal bir solüsyonla uygulanacak olan ıslak fırçalamadır. Bu işlem esnasında hekza-floro-silisik asit (H₂SiF₆) meydana gelir (%35'e kadar) ve asidik fırçalama çözeltisi nötralizasyonu gerektirir. Alternatif bir yöntem olarak H₂SiF₆ geri kazanılabilir ve mümkün olan hallerde kimya endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilir.

Bu uygulamalarda HF emisyonları sulu fırçalayıcılarla çok düşük seviyelere, yani <5 mg/Nm³ seviyelerine çekilebilir. Kimyasal fırçalama daha düşük su kullanımına imkan verse de atık sudan H₂SiF₆ geri kazanımını engellemektedir. Asit perdahlamasına alternatif olarak kullanılabilir olan alev veya lazer yardımıyla mekanik perdahlama ve yüksek sıcaklık perdahlaması gibi yöntemler hali hazırda geliştirme aşamasındadır ve bu metnin yazım tarihinde bu tekniklerin kullanıma hazır olduğu varsayılmamalıdır.

4.5.5 Özel Cam

Genel olarak, bu sektörde işlem sonrası standart faaliyetlerden kaynaklanan havaya yönelik önemli düzeyde bir emisyon söz konusu değildir. TV camı üretimi öğütme ve perdahlama faaliyetlerini gerektirmekle birlikte bunlar sıvı bir ortamda gerçekleştirilmekte ve hava yönelik emisyonlarda herhangi bir artışa neden olmamaktadırlar. Eğer TV camı veya diğer ürünler herhangi bir kuru kesme, öğütme veya perdahlama işlemine tabi tutulursa meydana gelen emisyonlar bir torba filtresine ekstraksiyon vasıtasıyla kontrol altına alınarak toz emisyonları 1 ila 5 mg/Nm³ seviyesine çekilebilir. Bu son derece çeşitlilik içeren bir sektördür ve bazı tesislerde çalışma sahasına özgü çözüm yöntemlerinin uygulanmasını gerektiren farklı faaliyetler söz konusu olabilir.

4.5.6 Madeni Yün

Madeni Yün Sektöründe ergime dışı faaliyetlerden kaynaklanan emisyonların dört ana nedeni bulunmaktadır: Şekillendirme, kütleme, ürün soğutma ve ürün işleme ve ambalajlama. Bölüm 3 şekillendirme ve kütleme işlemlerinden kaynaklanan emisyonların en önemlileri olduğunu göstermektedir. Bu emisyonlar büyük ölçüde fenolik reçine bazlı bağlayıcı sistemin kullanımıyla ilişkilidir.

Bu bölümde ele alınan teknikler uyumluluğu sağlamak amacıyla ve atık gazların niteliklerinin farklılaştığı göz önünde bulundurularak şekillendirme alanı ve kütleme alanı için ayrı ayrı tanımlanmıştır. Bununla birlikte, bu tekniklerden birkaçı özellikle cam yünü üretimi başta olmak üzere her iki alanda da kullanılabilir. Bu durum azaltılacak emisyonların bir arada değerlendirilmesi bakımından bir avantaj olarak ortaya çıkabilir. Bunun söz konusu olduğu hallerde bu teknikler şekillendirme alanı kesimi ve kütleme amacıyla yapılan çapraz referanslar için kapsamlı bir şekilde tanımlanır.

Cam yünü ve taş yünü süreçlerinden kaynaklanan emisyon çizgileri arasında birkaç önemli fark bulunmaktadır ve bu farklar en yakından ilgili bulundukları tekniklerle ilgili bölümlerde ele alınmaktadır.

4.5.6.1 Şekillendirme Alanı

Şekillendirme alanında cam veya taş eriyiği açılarak bağlayıcı uygulaması yapılır. Reçine kaplı fiber meme altındaki bir toplama bandına yönlendirilir. Cam yünü süreçlerinde su ekstraksiyon kanal sistemine ve fan içine püskürtülür. Bu işlemin iki işlevi bulunmaktadır; kanal sisteminde malzeme artışının engellenmesi ve bazı partikül ve gazlı bileşenlerin gaz akımından temizlenmesi. Taş yünü süreçleri kanal içi su püskürtmesi kullanımı bakımından farklılaşmaktadır. Bunlardan bazıları bu bakımdan cam yünü tesisleriyle karşılaştırılabilir durumda olmakla birlikte pek çoğunda su spreyi kullanılmamaktadır. Taş yünü kupol kampanyaları yalnızca birkaç hafta boyunca sürmektedir ve bu nedenle kanal sistemini temizlemek için bir fırsat vardır ve su sprelerinin her zaman zorunlu olduğu varsayılmaz.

Şekillendirme alanı atık gazı önemli miktarda partikül madde, fenol, formaldehit ve amonyak içerme olasılığı taşır. Partikül madde çoğu zaman aşırı nemli ve çok küçük partikül boyutuna sahip inorganik ve organik malzemeden meydana gelir. Eğer bağlayıcı sistemde bulunuyorlarsa düşük düzeyde VOC ve amin tespit edilmesi olasılığı da söz konusudur. Sürecin niteliği nedeniyle gaz akımı ortam sıcaklığının hafifçe üzerindedir, yüksek hacimlidir (eğer kanal içi su spreleri kullanılıyorsa) ve suya doygunudur. Kirleticilerin niteliğiyle bir araya gelen bu özellikler uygulanabilecek azaltma tekniklerinin sayısını sınırlandırmaktadır.

Salınımlar üzerinde bir dizi faktörün önemli etkisi bulunmaktadır. Özellikle;

- bağlayıcı sistemin kimyasal özellikleri,
- elyaflama tekniği,
- işletme koşulları (sıcaklık, hava akımı ve nem),
- uygulanan bağlayıcının seviyesi ve
- bağlayıcı uygulama yöntemi.

Bu parametrelerin kanal su spreleriyle bağlantılı olarak optimize edilmesi süreç emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Buradaki en önemli faktörlerden bir bağlayıcı sistemin kimyasal yapısıdır ve bu yapının proses suyu sistemi üzerinde ve şekillendirme, kütleme ve soğutma emisyonları üzerinde meydana getirdiği önemli sonuçlar söz konusudur. Bağlayıcı sistemler operatörler arasında değişiklik göstermekte ve genelde sektör dışında çok iyi bir şekilde anlaşılmamaktadır. Bu sistemler son derece çalışma sahasına özgü niteliklere sahip olabildiklerinden tekil olarak düşünülmeleri gerekebilecektir. Aşağıdaki bölüm ana unsurlardan bazılarını özetlemektedir.

Reçine ve Bağlayıcı Kimyasal Yapı ile İlgili Konular

Ağlayıcı sistemin kimyasal yapısının ve uygulama yöntemi etkinliğinin optimize edilmesi çevreye yönelik emisyonlar üzerinde çok önemli ve merkezi bir etkiye sahip olabilir. Bağlayıcı aynı zamanda nihai ürün maliyetinin çok önemli bir kısmını da meydana getirmektedir. Bu nedenle proses operatörleri bağlayıcının kimyasal yapısında ve uygulama tekniklerinde meydana gelen gelişmeleri yüksek gizlilik derecesine sahip bilgiler kapsamında değerlendirmektedir.

Bağlayıcı madde su, fenolik reçine, üre, amonyum sülfat, amonyak, silan, madeni yağ, silikon yağı ve tekil prosese özgü başka bazı maddelerden imal edilmektedir. Recine esas olarak trimetil fenol, dimetil fenol, formaldehit, eser miktarda fenol ve formaldehit tepkime ürünü ile fenol eserlerinin karışımından meydana gelen fenolik perçindir. Reçine su bazlıdır ve tipik olarak %50 oranında katı madde içerir. Tepkimede düşük seviyede serbest fenol seviyesi elde edebilmek için çok miktarda formaldehit kullanılır.

Bazı reçineler amin vasıtasıyla katalize edilir ve böylece atık gazdaki gazlı amin seviyesi yüksek miktarlara ulaşabilir. Bu emisyonlar reçine ürünüde katalizör olarak başka türler kullanılarak neredeyse tümüyle yok edilebilir. Bir dizi madde kullanılabilirle birlikte optimize edilmiş sistemlere ilişkin ayrıntılı bilgilerin genel olarak özel mülk kapsamında olduğu kabul edilmektedir. Katalize edilmiş aminsiz reçine sistemleri kullanılarak emisyon seviyeleri 5 mg/Nm³'ten daha düşük değerlere düşürülebilir. Eğer bir şirket katalize edilmiş aminsiz reçine geliştirmek için yeterli şirket-içi uzmanlığa sahip değilse söz konusu sistemler uzman reçine tedarikçilerinden kolaylıkla temin edilebilir.

Üre reçine ile tepkimeye sokularak reçine miktarı artırılır ve serbest formaldehit seviyeleri düşürülür. Bu işlem aynı zamanda nihai ürünün ateşe dayanıklılığının artırılması üzerinde de etkilidir. Üre reçinedeki serbest formaldehitte tepkimeye girerek metil üre meydana getirir. Bu da daha sonra fenolik reçinedeki aktif alanlarla tepkimeye girer ve kürlleme esnasında çapraz bağlama mekanizması içinde yer alır. Üre fenol yedeği olarak faaliyet göstermekte ve daha ucuz bağlayıcı elde edilmesinde rol almaktadır. Bu nedenle operatörün reçinedeki üre miktarını ürün kalitesinin veya proses parametrelerinin olumsuz etkileneceği noktaya kadar maksimize etmesi yönünde teşvik mekanizmaları bulunmaktadır.

Ürenin iki ana dezavantajı bulunmaktadır: reçinenin çözünürlüğünü azaltır ve gerek şekillendirme alanında ve gerekse kürlleme fırınında amonyak meydana getirilmesi safhasında aksamaya neden olabilir. Üre kullanımının maksimize edilmesi çevresel bakımdan yararlıdır çünkü üre formaldehit salınımlarını azaltır, fenolü ikame eder ve üre bozunum ürünleri fenol türevlerine ve aksi halde çevreye salınacak olan kısmı yanma ürünlerine nazaran daha tercih edilebilir ürünlerdir.

Amonyak bağlayıcı sistemde birkaç önemli role sahiptir ve prosesin bir bütün olarak optimize edilmesi açısından önem taşıyan belli derecede esnekliğe izin verir. Amonyak daha fazla ürenin takviye edilmesine imkan vererek ve bağlayıcının daha uzun süre saklanmasına izin vererek bağlayıcının çözünürlüğünü artırır. Ayrıca sistemin pH seviyesini doğru aralıkta idame ettirmesine ve serbest formaldehitlerle tepkimeye girmesine yardımcı olur. Proses kısa süreler içinde normalden daha yüksek amonyak salınımlarının meydana gelmesine neden olacak niteliktedir. Prosesteki amonyak seviyelerinin azaltılmasının ortaya çıkaracağı etkiler prosesin geri kalanı üzerindeki etkilerle orantısız olabilir. Ayrıca daha yüksek amonyak salınım seviyeleri toplam emisyon seviyesinin daha düşük gerçekleşmesine de yol açabilir.

Reçinenin kürlenmesini kontrol altına almak için amonyum sülfat takviyesi yapılır. Silan inorganik cam ile organik bağlayıcı arasında yaşamsal bir arayüz olarak iş görür. Silan hidroksil grupları cam oksitleri ile, organik işlevsel gruplar ise reçine ile etkileşerek güçlü bir bağ meydana getirirler. Ürün işleme özelliklerini geliştirmek, toz oluşumunu baskılamak ve belli bir derece su geçirmezliği sağlamak için madeni ve silikon yağ takviyesi yapılır.

Şekillendirme alanında sıcak cama bağlayıcı uygulandığında uçucu bileşenler (söz gelimi amonyak, formaldehit ve fenol) buharlaşacak ve salınım noktasına çıkartılacaktır. Uçucu salınımların seviyesi bağlayıcıdaki tepkimeye girmemiş uçucu malzeme miktarının, bağlayıcının seyrelmesinin, şekillendirme davlumbazındaki sıcaklığın ve cam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ifade edilecektir. Bağlayıcı ince bir spreylenmiş tabakası olarak uygulanır. Altlık tarafından tutulmayan hiçbir damlacık çıkarılan hava ile salınmayacaktır. Ürün üzerinde bağlayıcının tutulması kapasitesi damla büyüklüğünün dağılımına, altlığın kalınlığına ve uygulanan emiş seviyesine bağlı olacaktır.

Fenolik reçine bazlı bağlayıcıların bazı alternatifleri değerlendirilmiş ancak bunlardan hiçbirinin kabul edilebilir seviyede bir ürün kalitesi sağlamadığı görülmüştür.

4.5.6.1.1 Darbeli Fıskiyeler ve Siklonlar

Tekniğin Açıklaması

Şekillendirme alanı için uygulanabilecek uygun azaltma sistemlerinin ele alınmasında önem taşıyan faktörlerden biri gaz akımının su muhtevasıdır. Cam yünü üretiminin süreklilik özelliği ekstraksiyon kanal sistemindeki elyaf ve fanda yapışkan organik malzemelerin oluşmasını engellemek için uygun bir temizleme mekanizmasının kullanılmasını gerektirir. Normalde uygulanan teknik kanal içi su püskürtme tekniğidir ve bu da çeşitli biçimlerde gerçekleştirilebilir. Taş yünü kupol üretiminin süreksizlik özelliği ise (1 ila 3 haftalık uygulama süresi) gerek duyulması halinde kanal sisteminin temizlenebilmesine olanak tanır. Ayrıca, taş yünü üretimi birim hacim ürün başına görece daha düşük miktarda bağlayıcı kullanılmasını gerektirdiğinden yapışkan madde oluşumu da daha yavaş gerçekleşecektir. Bazı taş yünü prosesleri şekillendirme alanında su spreylere dayanmaktadır. Ancak bu geniş ölçüde operatörün tercihi veya çalışma sahasına özgü işletme gerekliliklerine bağlıdır.

Kanal sistemini temizlemek için su spreylerinin kullanıldığı hallerde bu su spreylerinin kullanımını atık gazı da temizleyecek şekilde optimize etmek mantıklıdır. Bu durumda amaçlanan iki hedef tümüyle birbirini tamamlayıcı nitelik arz etmektedir; atık gazdan ne kadar malzeme temizlenirse temizleme fonksiyonu o denli verimli olacaktır. Kanal sisteminde kabul edilemez oluşumların meydana gelmesini önlemek için sistemler genel olarak asgari gerekliliklerden daha ileri bir seviyeye adapte edilir. Darbeli fiskiye terimi sektörde optimum hale getirilmiş bu tekniği tanımlamak için kullanılır.

Gaz temizleme işleminin verimliliğini en iyileştirmek için söz konusu sistemler yüksek hacim ve basınçtaki suya tatbik edilir. Ancak bu uygulama anlamlı bir basınç düşmesi meydana getirmez. Darbeli fiskiye tasarımı başvuru prosesi arasında farklılık arz etmekle birlikte tekniğin gerek kanal temizleme gerekse atık gaz fırçalama bakımından etkinliğinin en iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Sürüklenen suyu atık gazdan ayırmak için darbeli fiskiyeler hezaman siklonlarla (veya diğer cihazlarla) birlikte kullanılır. Bu aynı zamanda Bölüm 4.4.1.4'te de tanımlandığı gibi tasarıma bağlı olarak partikül seviyeleri üzerinde de bir etki meydana getirir.

Partikül ve damlacık giderme işlemi sıkıştırma / çarpma ve belli bir ölçüde de difüzyon vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bazı sistemlerde giderme işleminin etkinliğini artırmak için kanal sisteminin darlaştırılması gerekebilir. Ancak partikül giderme etkinliği ağırlıklı olarak basınç düşmesine bağlıdır, ki bu da bu sisemlerin tümünde düşüktür.

Gazlı maddeler suyla temas yoluyla kısmen absorbe edilir. Gaz soğurmasının etkinliği ise ; Gazın atık gaz akımı içindeki kısmi basıncı ile gazın sıvı içindeki buhar basıncı arasındaki farka, gazın sıvı içindeki çözünürlüğüne, temas yüzeyi alanına ve belli bir ölçüde de temas süresine bağlıdır. Eğer gaz sıcaksa önem taşıyabilecek olan bir yoğunlaşma etkisi de söz konusudur.

Darbeli fiskiyeler için genellikle proses suyu kullanılmaktadır. Bu su gaz akımında değişik miktarlarda mevcut maddelerin büyük kısmını ihtiva etmektedir. Bu durum gazlı madde giderimi etkinliğini özellikle etkilemektedir. Geri dönüşüm proses suyu yeniden uygulanmadan önce filtrelanmakla birlikte önemli miktarda çözünür madde ihtiva etmeye devam edecektir. Sistem dinamik denge durumundadır ve proses suyu sistemi bu belgenin ilerleyen kısımlarında açıklanmaktadır.

Çevresel Performans

Düşük seviyede basınç düşmesi sebebiyle ince partikül maddeler ve damlacıkların giderim etkinliği son derece düşüktür. Bununla birlikte, şekillendirme alanında bulunan önemli miktarda katı malzeme son derece büyük ve elyaflıdır ve darbeli fiskiyeler ve siklonlar vasıtasıyla kolayca giderilir. Nihai emisyonlar bağlayıcının ve proses suyunun kimyasal yapısına ve tatbik edilen bağlayıcının miktarına bağlıdır. Bu teknik kullanılarak ulaşılabilen seviyeler Tablo 4.29'da verilmektedir.

Mali Konular

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.30'da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Tekniğin bir azaltma tedbiri olarak maliyet değerlendirmesini yapmak oldukça güçtür; çünkü darbeli fiskiye kullanılan hallerde belli bir temizleme mekanizması prosese içkin gereklilikler arasında yer almaktadır. Tabloda verilen maliyetler sistemin toplam maliyetini temsil etmektedir. Yalnızca kanal sistemini temizleme amacıyla uygulanan sistemlerin herhangi bir örneği bulunmamaktadır. Bu sistemler her zaman çift amaca hizmet etmek üzere kurulmaktadır. Gaz temizleme elemanının toplam maliyetin %60'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, bu analiz nihayetine akademik bir analizdir; çünkü Üye Devletlerin büyük çoğunluğunda hiçbir azaltma tedbirinin uygulanmadığı emisyonlara izin verilmemekte, bu yüzden mutlaka başka azaltma maliyetleri de gündeme gelmektedir.

Uygulanabilirlik

Bu teknik ilke olarak tüm cam yünü ve taş yünü prosesleri için geçerlidir. Teknik peçok taş yünü tesisinde kullanılmamakta; çünkü proses temizliği açısından zorunlu kabul edilmemekte ve kullanılmakta olan diğer azaltma teknikleri üzerinde olumsuz etkilere sebebiyet verebilmektedir. Şekillendirme alanı emisyonları söz konusu olduğunda darbe fiskiyesi ve siklon kullanımının yaklaşık %90'ı cam yünü, %10'u ise taş yünü tesislerinden kaynaklanmaktadır.

İlgili Konular

Dolgu yatak fırçası benzeri başka bir teknik kullanılmadığı sürece katışık suyun giderilmesi için siklonlar (veya bazen alternatif bir cihaz) darbe fiskiyeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Su tüketiminin azaltılması ve kabul edilebilir buğu görünürlük ve dağılım seviyelerinin elde edilebilmesi için bu uygulama zorunludur. Diğer sulu tekniklerin kullanıldığı hallerde (söz gelimi ıslak EP'ler veya dolgu yatak fırçası) darbe fiskiyeleri genel olarak işlem öncesi kullanılır.

Örnek Tesisler

Bu teknik o kadar yaygın kullanılmaktadır ki herhangi örnek bir tesis göstermenin gereği yoktur.

4.5.6.1.2 Islak Fırçalar

Tekniğin Açıklaması

Islak fırçalama sistemleri hem gaz hem de partikül emisyonların kontrolü amacıyla kullanılabilir. Her iki emisyon türü için uygulanan teknoloji temelde benzer olsa da partikül veya gaz giderimi için izlenen tasarım kriterleri birbirinden çok farklıdır. Bununla birlikte, sermaye maliyetlerini azaltmak için partikül ve gaz karışımı emisyonları kontrol altına almak amacıyla sıklıkla ıslak fırçalama sistemleri kullanılır. Tasarım ister istemez bir orta nokta çözümüdür ancak ayrı kontrol sistemlerinin aşırı pahalı olduğu durumlarda Mevcut En İyi Teknik olarak başvurulabilir. Islak fırçalama iyi dokümente edilmiş bir tekniktir ve burada yalnızca ana ilkeler ve sektöre özgü konular ele alınmaktadır.

Sıvı fırçalama uygulamasıyla sağlanan partikül toplama üç ana mekanizma ile gerçekleşmektedir: Atalet sıkıştırması, engelleme ve difüzyon. Islak fırçalamayla eser gaz giderimi soğurma ve belli bir ölçüde yoğunlaşma yoluyla gerçekleşir. Soğurma işlemi çözünebilir bir gaz ile bir gaz-sıvı temas cihazı içindeki solvent arasında kütle transferini gerektirir.

Islak fırçaların partikül toplama etkinliği büyük ölçüde toplam enerji kullanımına, özellikle de toplama bölgesinde meydana gelen basınç düşmesine bağlıdır. Eğer söz konusu sıvı fırça üzerinde düzgün bir şekilde yayılmışsa benzer basınç düşmeleri aynı tozda birbirinden çok farklı fırça tasarımlarında bile çoğu zaman benzer etkinlik düzeylerine neden olacaktır. Böylece, 1 µm ve altı partiküllerde yüksek etkinlik gösteren ve yüksek basınç düşmesi bulunmayan bir ıslak fırça tasarımı mümkün değildir. Yüksek enerji fırçaları 0.5 µm altındaki partiküllerde iyi bir toplama etkinliği sağlayabilir ancak bunların yüksek işletme maliyeti alternatif tekniklerin daha ekonomik olabileceğini de göstermektedir.

Gaz soğurmasının etkinliği ise; Gazın atık gaz akımı içindeki kısmi basıncı ile gazın sıvı içindeki buhar basıncı arasındaki farka, gazın sıvı içindeki çözünürlüğüne, temas yüzeyi alanına ve belli bir ölçüde de temas süresine bağlıdır. Eğer gaz sıcaksa önem taşıyabilecek olan bir yoğunlaşma etkisi de söz konusudur. Çözünürlük kesinlikle gaz ve sıvıya bağlıdır. Hidrojen klorür, hidrojen florür, silikon hekza-florür ve amonyak gibi çözünebilir asidik gazların soğurulması için su uygundur. Daha az çözünür gazların soğurulması içinse alkalın veya asit solüsyonları uygundur ve bazı uygulamalarda da oksidasyon solüsyonları organik kokuları kontrol edebilmektedir. Yüzey alanı ambalaj malzemesi veya damlacık boyutuna bağlıdır.

Dolgu yatak fırçaları destek ızgaraları üzerinde bir dolgu malzeme yatağının bulunduğu bir dış kabuktan, sıvı dağıtıcılarından, gaz ve sıvı girişi ve çıkışlarından ve bir adet de buğu yok edicisinden meydana gelmektedir. Sıvı sürekli olarak bir ambalaj malzemesinin üzerine dağıtılarak bir film tabakası oluşturulur. Bu film tabakası gaz ve sıvı teması için geniş bir yüzey alanı sağlar. Kirli gaz akımı dolgulu yatak arasından geçer. Sıvı ve gaz akımları eş, karşı veya çapraz akım şeklinde olabilir. Rastsal veya düzenli yapılar içinde doldurulabilen çeşitli tipte dolgu malzemeleri bulunmaktadır. Dolgu malzemesinin üzerindeki sıvı film tabakası kütle transferi için geniş bir yüzey alanı sağlar. Karşı akım dolgulu yatak soğurucuları soğurma için gerekli tahrik gücünü maksimize eder çünkü dolgulu yatağı terk eden gaz taze soğurucu sıvı ile karşılaşır. Dolgulu yataklar çözünemeyen partikül malzeme, ölçek ve biyolojik gelişim gibi nedenlerle bloke olabilir.

Bazı uygulamalarda venturi (darboğaz) fırçaların kullanımı da düşünülebilir. Bir venturi fırçanın karakteristik özelliği kanala doğru daralıyor olmasıdır (venturi boğazı) Bu daralma gazın hızında artışa neden olur. Fırçaya tatbik edilen sıvı duvarlarda bir film tabakası meydana getirir. Bu tabaka venturi boğazında gaz akımı tarafından atomize edilir. Venturi fırçasının etkinliği basınç düşmesine bağlıdır ve dolayısıyla bunların enerji tüketimi ve işletme maliyetleri oldukça yüksek seviyededir. Venturi fırçalar mikron altı parçacıklar için uygun olmaları nedeniyle genellikle partikül toplamada başvurulmuş en verimli ıslak fırçalama sistemleridir. Bu fırçalar aynı zamanda eser gaz giderimi için de kullanılabilirle birlikte düşük temas süresi nedeniyle etkinlik seviyeleri sınırlı olacaktır.

Sektörde en yaygın kullanılan ıslak fırçalar dolgulu yatak fırçalarıdır; bunlar da genellikle işlem öncesi darbeli fiskiyelerle birlikte kullanılır. Darbeli fiskiye daha büyük boyutlu partikülleri gidererek dolgunun tıkanmasını önlemeye yardımcı olur. Bazı operatörler iyonlaştırıcı ıslak fırçalar (IWS) kullanmakta, böylece ıslak fırçaların sahip olduğu düşük sermaye yatırımı avantajı ile elektrostatik ayırıcıların düşük işletme maliyeti avantajını bir araya getirmektedirler. IWS temel olarak nötr şarj durumunda idame ettirilen ve kendisinden önce partikülleri şarj etmek için iyonlaştırıcı bir bölümün geldiği yatak dolgulu bir fırçadır. Yatak normalde plastik bir dolgudan meydana gelmektedir. Yataktan geçen gaz hızları partiküllerin dolgu malzemelerin yakınında olabildiğince çok zaman geçirmesini sağlayacak ölçüde düşüktür.

Şekillendirme alanındaki atık gaz etkin bir fırçalama sisteminde su ile temas ettiğinde aşağıdaki olaylar meydana gelir:

- Yakalanan partikül maddenin bir kısmı, esas olarak da büyük partiküller ve damlacıklar askıda tutulur,
- Reçineli maddenin belli bir kısmı su tarafından absorbe edilir ve
- Uçucu maddeler gaz ve sıvı fazları arasında bir denge oluşturur.

Sektörde en yaygın olarak kullanılan proses suyu fırça likörüdür. Bu da fırçalama ortamında etkin soğurmayı kolaylaştırmak ve gaz fazına geri salınımı önlemek için yeterince düşük uçucu madde hacminin idamesinde potansiyel sorunlara yol açar. Madeni yün imalat prosesi net su tüketimini gerektirir ve fırçanın performansı fırçadaki sistemin temiz suyla doldurulmasıyla artırılabilir. Bu fayda bir aşamadan diğerine, karşı akımdan gaz akımına akan suyla kombine çok-aşamalı fırçalama prosesi ile en iyileştirilebilir. Bu şekilde gelen (en kirli) gaz akımını fırçalamak için en kirli su kullanılırken nihai fırçalama aşamasında temiz su kullanılır.

Sorunun muhtemel bir çözüm yolu fırçalama ortamını proses suyu sisteminden ayırmak ve: Etkin soğurma seviyesini idame etmek için yeterince yüksek saflıkta temiz su kullanmak veya kimyasal olarak fırça likörünü uçucu türlerle tepkimeye girecek olan maddelerle dozlamaktır. Bununla birlikte her iki yaklaşımın da önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. Temiz su kullanarak esas itibarıyla daha iyi bir performans elde edebilmek için tasfiye hacmi proses suyu sistemine geri dönüştürmek için çok yüksek olacak ve bu da ayrı bir arıtma işlemini gerektiren yeni bir atık akımının ortaya çıkmasına neden olacaktır. Darbeli fiskiyelerden gelen suyun hacmi bu sorunu ağırlaştıracaktır.

Atık gazın su muhtevası ve reçine özelliği yüksek hacimli bir tasfiye kullanılmadığı takdirde kimyasal bir fırçada blokaj ve fırça likörü hacim sorunlarına sebep olacaktır. Kimyasal muhteva nedeniyle bunlardan hiçbirisi proses suyu sistemine geri dönüştürülemez ve bu da yine ayrı bir arıtım işlemi gerektiren yeni bir atık akımına yol açar. Uygulamanın bir başka sonucu fenol / formaldehit ve amonyakın giderimi için gerekli kimyasal ajanların uyumsuz olması ve birbirinden ayrı aşamaları gerektirmesidir. Kimyasal fırçalama safhaları bir proses suyu fırçası ile dizi olarak konumlandırılabilir ancak bu uygulama maliyetleri çok fazla yükseltecek ve aşırı derecede verimli bir çalışma sağlanamadıkça burada ele alınan sorunların üstesinden gelmekte yararlı olmayacaktır. Ayrıca, sulu atık akımı düşünüldüğünde böyle bir teknikle yeterli proses kontrolü sağlayan bir proses suyu fırçası arasındaki genel emisyon seviyesi farkı sınırlandırılabilir görülmektedir.

Kombine bir birimdeki veya ayrı birimler içindeki çok aşamalı fırçalama şekillendirme alanı için ve kombine şekillendirme ve kürleme fırını emisyonları için teorik bir seçenektir. Ancak çok aşamalı fırçaları işleten herhangi bir madeni yün prosesi yoktur ve bu yüzden çevresel performans, maliyetler ve potansiyel işletme sorunları hakkında herhangi bir bilgi de bulunmamaktadır. Bu nedenle teknolojinin şu an itibarıyla tam anlamıyla kullanılabilir olduğu düşünülemez. Yine de eğer hat emisyonları özel bir tesiste çok yüksek düzeyde ise bu yöntem alternatif bir seçenek olarak düşünülebilir.

Çevresel Performans

Madeni yün endüstrisinde (fırça likörü olarak proses suyu kullanan) dolgu yatak fırçaları ile erişilebilecek emisyon seviyeleri Tablo 4.29’da verilmektedir. Dolgu yatak fırçalarının performansını sınırlayan etmenler partiküller söz konusu olduğunda düşük basınç düşmesi, gaz maddeler içinse proses suyunun fırçalama ortamı olarak kullanılmasıdır. Temiz su fırçalama ile fenol, formaldehit ve amonyak için anlamlı ölçüde düşük emisyon seviyelerine ulaşılabilir beklenmektedir. Proses suyu dengesi kritik bir faktör olarak öne çıkmakta ve (söz gelimi yüksek bağlayıcı ürünün askı süresini takip eden düşük bağlayıcı ürün gibi) bazı nadir durumlarda fırça etkinliğinin gazlı bileşenler için negatif etki dönmesi mümkün olmaktadır.

Son yıllarda bazı operatörler iyonlaştırıcı ıslak fırçaları kullanmaktadır ancak genel sonuçlar biraz hayal kırıcı olmuştur. Dolgu yatak fırçaları üzerindeki etkinlikte meydana gelen iyileşme genel olarak %10’dan daha düşük seviyededir.

Bu sektörde kimyasal veya çok aşamalı fırçalama işlemi konusunda herhangi bir deneyim yoktur ancak kimya endüstrisindeki deneyimler eğer ilgili sorunlar aşılabılırsa fenol, formaldehit ve amonyak için emisyon seviyelerinin 10 mg/m³ altına kolaylıkla indirilebileceğini ortaya koymaktadır. Tablo 4.29’daki rakamlarla karşılaştırıldığında bu yalnızca amonyak için önemli miktarda bir iyileşme sağlamaktadır.

Mali Konular

Bu teknolojinin maliyetleri Tablo 4.30’da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. IWS’de olduğu gibi iyonlaştırma aşamasının birleştirilmesi sermaye maliyetlerinde yaklaşık olarak %75’lik, işletme maliyetlerinde ise yaklaşık %10’luk bir artışı gerektirmektedir. Çok aşamalı kimyasal fırçalamanın tabloda verilen rakamları yaklaşık iki katına çıkarması beklenmektedir. Kombine çok aşamalı bir fırçalama işleminin maliyeti büyük olasılıkla çok daha karşılaştırılabilir bir düzeyde olacaktır. Ancak bu durumda aşamaların tümüyle birbirinden ayrılması zorunlu olacak, böylece maliyet yükselecek ve daha pahalı korozyon dayanımlı malzemelerin kullanılması zorunluluğu ortaya çıkabilecektir.

Uygulanabilirlik

İlke olarak, proses suyunu devri daim ettiren dolgu yatak fırçaları sektördeki tüm proseslerde uygulanabilmektedir. Teknik yalnızca yeni tesisler veya önemli değişiklikler ile sınırlı olmamakla birlikte mevcut tesislerde gerçekleştirilen uygulamalarda maliyetler daha yüksek olma eğilimindedir. Bazı uygulamalarda, özellikle Taş yünü uygulamalarında benzer veya daha düşük emisyon seviyelerini elde edebilmek için başka teknikler kullanılabilir.

Cam yünü üretiminde tesislerin %20’sinden biraz daha azı dolgu yatak fırçalarını kullanmaktadır. Bu kullanım da ya şekillendirme alanı ve kürleme fırını emisyonlarında bir arada veya yalnızca şekillendirme alanında gerçekleşmektedir. Taş yünü imalatında dolgu yatak fırçaları tesislerin yaklaşık %10’unda şekillendirme alanı emisyonları, bir o kadarında da kürleme alanı emisyonları için kullanılmaktadır. Bu iki alandan kaynaklanan emisyonlar genellikle taş yünü tesislerinde kombine değildir.

İlgili Konular

Islak fırçaların önemli bir özelliği arıtma işlemini gerektiren bir sulu atık yaratma şeklindeki olası çapraz-ortam etkisidir. Madeni Yün Sektöründe bu sorundan proses suyu sistemine %100 geri dönüşüm sağlayan, proses suyunun fırçalama ortamı olarak kullanılması yöntemiyle kaçınılmaktadır. Temiz suyun veya kimyasal fırçaların kullanılması sulu atık akımının oluşmasına sebep olacaktır.

Bu tekniğin bir faydası şekillendirme alanı ve kürlleme alanı emisyonlarının tek bir arıtma safhasında bir araya getirilebilecek olmasıdır. Şekillendirme alanı atık gazının hacmi genellikle kürlleme alanı atık gazı hacminden on kat daha fazladır. Eğer tasarım aşamasında uygulamaya konulmuşsa atık gaz kombinasyonu tekniğin toplam maliyetine önemli bir katkıda bulunmaz.

Örnek Tesisler

Owens Corning Building Products (UK) Ltd, St Helens, Britanya.
Pfleiderer Delitzsch, Almanya
Isover Orange, Fransa

4.5.6.1.3 Islak Elektrostatik Çökelticiler

Tekniğin Açıklaması

Elektrostatik Çökelticilerin temel ilkeleri ve işletimi konuları Bölüm 4.4.1.2'de açıklanmaktadır. Islak çökelticilerde, toplanan malzeme kolektör plakası üzerinden uygun bir sıvı (ki bu genellikle sudur) fişkırtılarak, kesikli veya sürekli spreyleme yöntemiyle giderilir. Plaka ve kablo, plaka ve plaka ve tüp ve plaka olmak üzere üç ana tip çökeltici ıslak olarak çalıştırılabilir. Plaka tip çökelticilerde gaz akımı yataydır, tüp tasarımında ise gaz akımı gaza karşıt yönlü sıvı akımına diktir. Bazı daha sağlam tasarımlarda rotlar kablonun yerine geçer.

Genelde kuru çökeltme işlemi tercih ediliyor olmakla birlikte yoğunlaşma noktasına yakın sıcaklıklarda tozun ıslak gazdan ayrıştırılması ve sıvı aerosollerle resinöz partiküller veya katranlar gibi yapışkan malzemelerin toplanması için ıslak çökelticiler yararlı olmaktadır. Gazda mevcut nem çökertilmesi zor tozları kolaylıkla çökelttiği ve çökertilmesine katkıda bulunduğu için ıslak çökelticilerin performansı partikül özelliklerine daha az bağlıdır.

Islak uygulamalarda tüp birimleri en yaygın olarak başvuru olan çözümdür ve eğer ortamda katran mevcutsa bunların patlama dirençli olmasını sağlamak daha kolaydır. Ancak tüp birimleri genellikle yalnızca tek bir elektrik alanına sahiptir ve çok yüksek etkinlik seviyelerinin elde edilmesine daha az uygundur. Madeni yün üretiminde her üç tip de kullanılmıştır ancak plaka ve kablo ve tüp ve kablo tipleri hali hazırda tercih edilmekte olanlardır. Yangın söndürme için genellikle yağmurlama sistemi kurulmaktadır.

WEP girişinde tüm elemanlar arasında tek biçimli ve düşük hızlı gaz akımının üretilmesi için egzoz gazlarının iyi bir dağılıma sahip olması şarttır. Atık gaz darbeli fışkıyellerle elektrostatik çökeltme öncesinde koşullandırılır, büyük elyafli malzeme giderilir ve gaz doyunlaştırılarak soğutulur.

İşlemin tasarım parametreleri içerisinde gerçekleşmesini temin etmek için soğuk elektrostatik çökeltici girişine püskürtülerek doyunlaşma ve elektrotların temizliği gerçekleştirilir. Cam yünü süreçlerinde bu suyun hacmi genel olarak proses suyu devresine deşarj edilebilecek kadar düşüktür ve bu haliyle devredeki ana ilave unsur temsil edebilir. Taş yünü proseslerinin büyük çoğunluğunda şekillendirme alanından kaynaklanması muhtemel buharlaşma çok daha düşük seviyededir ve bu hacimde bir temiz su kullanımı mümkün değildir.

Çevresel Performans

Islak elektrostatik çökticiler partikül maddelerin, aerosollerin ve 10 ila 0.01 µm arası damlacıkların gideriminde etkindir. Performans gaz akış hızı başta olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olacaktır. Yeni tasarlanan bir ıslak elektrostatik çöktici giderim etkinliği <1µm çaplı partiküllerde hızla düşse de >1µm çaplı total partikül maddelerde giderim etkinliğini %98 seviyesine çıkartabilmektedir. Performans ekipmanın kullanım ömrü süresince azalabilmekte ve bu nedenle bakım operasyonları büyük önem kazanmaktadır.

Genel olarak ıslak elektrostatik çökticiler gazlı maddelerin gideriminde sınırlı bir etkinlik göstermektedir. Bu da büyük ölçüde ürün aralığına ve bağlayıcının ve proses suyunun kimyasal yapısına bağlıdır. Bununla birlikte yüksek doygunluk seviyesi ve önemli miktarda temiz su kullanımı sebebiyle bir miktar gazlı madde soğurulması da gerçekleşmektedir.

Bu teknik kullanılarak ulaşılabilen seviyeler Tablo 4.29'da verilmektedir.

Mali Konular

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.30'da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır.

Uygulanabilirlik

Bu teknik prensip olarak yeni ve mevcut cam ve taş yünü proseslerinde kullanılabilir. Taş yünü uygulamalarında ortaya çıkan en önemli dezavantaj sulu atık akımının bertarafında karşılaşılan muhtemel güçlüklerdir. Teknik şekillendirme alanı ve kütleme alanı emisyonlarının ayrı ayrı gideriminde etkin olduğu kadar birleşik emisyonların giderimi için de uygundur. 1997 yılında cam yünü tesislerinin yaklaşık %30'u bu tekniği şekillendirme ve kütleme emisyonlarının ayrı veya kombine giderimi için kullanılmaktaydı. Islak elektrostatik çökticilerini kullanan taş yünü tesisi bulunmamaktadır.

İlgili Konular

Avantajlar:

- <20 mg/m³ çapındaki partiküller ve damlacıklar / aerosoller için iyi düzeyde giderim etkinliği.
- Gazlı maddelerin yüksek doygunluk ve temiz su kullanımıyla soğurulmasına imkan vermesi,
- Şekillendirme ve kütleme alanı emisyonları için uygun
- Düşük basınç düşmesi ve bu nedenle görece olarak düşük işletme maliyetleri ve enerji kullanımı
- Büyük elyafli maddelerin giderimi için darbeli fiske kullanılması durumunda nadiren blokaj durumu
- Düşük bakım ihtiyacı gerektiren uzun işletme ömrü

Dezavantajlar:

- Sulu atık akımı üretimi; bu atık akımı cam yününde genellikle geri dönüştürülebilir ancak taş yünü üretimindeki geri dönüşüm oranı daha düşüktür.
- Enerji tüketilmektedir; ancak bu enerji tüketimi diğer proses gerekliliklerine nazaran düşük düzeydedir.
- Görece olarak yüksek sermaye maliyetleri
- Önemli ölçüde yüksek alan gereksinimi
- Bakım ihtiyacı düşüktür ancak kritik önem taşımaktadır; bakım gereksiniminin yeterince karşılanmaması performansta önemli azalmaya yol açar.
- Yüksek voltaj güvenlik gerekliliklerini artırır.

Tablo 4.26: Islak Elektrostatik Çökticilerin önemli avantaj ve dezavantajları

Örnek Tesisler

Owens Corning Building Products (UK) Ltd, St Helens, Britanya
G + H, Speyer, Almanya
Isover Etten-Leur, Hollanda

4.5.6.1.4 Taş Yünü Filtreleri

Tekniğin Açıklaması

Konvansiyonel pasif filtreleme prosesleri (söz gelimi torba filtreler) şekillendirme alanı ve kürleme fırını işlemlerinden kaynaklanan atık gazların arıtımı için uygun değildir. Gazın yapışkan ve kimi zaman da nemli yapısı yoğun temizlik ve bakım uygulamalarının söz konusu olduğu durumlarda bile hızla körelmeye yol açacaktır. Şekillendirme proseslerinin genellikle kuru olduğu taş yünü faaliyetlerinde taş yünü levha filtreleri kullanılabilir. Bunlar, içinde kasetler üzerine monte edilen taş yünü levhalarının filtreleme ortamı olarak iş gördüğü bir çelik veya beton mahfazadan meydana gelmektedirler. Bu tip filtreler partikül malzeme ve ayırıcı damlalar söz konusu olduğunda iyi düzeyde giderim etkinliğine sahip olmakla birlikte gazlı bileşenlerin giderimindeki etkinlik seviyeleri düşük kalmaktadır. Partikül giderim etkinliğinin muhafaza edilebilmesi ve hava akımına karşı dirençteki artışın önlenmesi için filtreleme ortamı periyodik olarak değiştirilmelidir. Kullanılan filtre levhaları tesis sahasında briketleme prosesinin bulunması halinde genellikle fırına geri dönüştürülebilir.

Buradaki işlem yarı-kuru bazda gerçekleştirilebilir ancak işletimin kuru olması durumunda genel etkinlik seviyesi çok daha fazla artacaktır. Sistem sulu atık akımı üretmeyeceği gibi nem filtre plakaları da tesis sahasında kullanılan briketleme prosesi sayesinde kolayca geri dönüştürülebilecektir.

Bu tasarımın daha önceki bir versiyonu filtreleme ortamı olarak taş yünü silindirlerini kullanan bir kule filtresine dayanmaktadır. Bu teknik daha az etkindir ve daha sonra bunun yerini büyük ölçüde kaset tasarımı üzerine monte edilen plakalar almıştır. Kule filtre tasarımı daha nemli ve daha fazla bağlayıcı taşıyan atık gazlar için daha uygun olmakla birlikte darbeli fiskiyelerle arıtılan atık gazlar konusunda yetersizdir.

Çevresel Performans

Taş yünü filtreleri partikül maddeler ile damlacıkların / aerosollerin gideriminde çok etkindir. Bu teknik kullanılarak ulaşılabilen seviyeler Tablo 4.29'da verilmektedir. Teknik gazlı maddeler üzerinde anlamlı bir etkiye sahip değildir ancak (söz gelimi kuru işletim gibi) birincil kontrollerle ve düşük aerosol emisyonu ile uygulandığında tabloda gösterilen seviyelere erişilebilmektedir. Bu aynı zamanda bu tür filtreden çok düşük duman görünürlüğü sonucunu da beraberinde getirmektedir.

Mali Konular

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.30'da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Özellikle sermaye maliyetleri düşüktür ve düşük basınç düşmesi diğer konvansiyonel filtre sistemleri ile karşılaştırıldığında işletme maliyetlerini oldukça düşük seviyelere çekmektedir.

Uygulanabilirlik

Bu teknik, taş yünü kürleme fırınlarında da bazı uygulamalara rastlanmakla birlikte esas olarak taş yünü prosesi şekillendirme alanları ile sınırlıdır. Teknik gerek yeni gerekse mevcut taş yünü proseslerine tatbik edilebilir. Taş yünü proseslerinin %90'ı şekillendirme alanı atık gazlarının arıtımı için bu tekniği kullanırken %10'undan biraz daha düşük bir bölümü tekniği kürleme fırını emisyonlarının arıtımında tercih etmektedir. Tekniğin taş yünü kürleme fırınlarındaki kullanımının sınırlı düzeyde olması kısmen yüksek gaz sıcaklığına bağlı olmakla birlikte yakma uygulamasının yaygın bir şekilde kullanılması da önemli bir başka etkidir.

Tekniğin cam yünü proseslerinde kullanımına dair bilinen bir örnek uygulama bulunmamaktadır. Tekniğin cam yünü proseslerinde kullanılmamasının ana nedenleri aşağıda ele alınmaktadır.

Cam yünü üretiminin süreklilik özelliği ekstraksiyon kanal sistemindeki elyafta ve fanda yapışkan organik malzemelerin oluşmasını engellemek için uygun bir temizleme mekanizmasının kullanılmasını gerektirir. Normalde uygulanmakta olan teknik darbeli fiskiyelerdir. Bunlar genelde taş yünü imalatında kullanılmamaktadır; çünkü prosesin süreklilik niteliği kanal sisteminin temizlenmesi fırsatını da beraberinde getirmektedir. Ayrıca Taş Yünü üretimi görece düşük bağlayıcı kullanımını gerektirmekte ve böylece malzeme birikimi de daha yavaş gerçekleşmektedir.

Taş yünü prosesinde fiber genellikle sabit kalınlığın altlığı olarak toplanır. Bu daha sonra ayrı bir şekillendirme taşıyıcısına serilir ve böylece istenilen ürün özellikleri elde edilir. Birincil altlık incedir ve yalnızca küçük, sabit bir basınç düşmesini empoze eder. Böylece görece düşük hacimli tek bir ekstraksiyon sisteminin kullanılmasına imkan sağlar. Cam yünü üretiminde tek bir taşıyıcı şekillendirme sistemi kullanılır. Altlığın kalınlığı şekillendirme taşıyıcısı boyunca yükselir ve ürüne bağlı olarak değişiklik gösterir. Taşıyıcı hattı boyunca diferansiyel basıncında meydana gelen değişiklik birbirinden farklı kapasitelere sahip birden fazla ekstraksiyon sisteminin kullanılmasını zorunlu kılar ve genel hava ekstraksiyonu yüksek basınçlı, değişken ve kontrol edilebilir olmalıdır. Ekstraksiyonun seviyesi ve dağılımı önemli bir proses kontrol aracıdır. Bu da proses operatörlerince sık sık değiştirilir. Cam yünü atık gazının değişken yüksek hacmi ve yüksek basınç koşulları filtreleme sistemlerinde ideal durum değildir.

Cam yünü şekillendirme alanının suya doymuş yüksek bağlayıcı muhtevası taş ürününün hızla bloke olmasına sebep olur. Bu durum da filtre ortamında sık sık değişiklik yapılmasını gerektirir ve geri dönüşüm ve bertaraf işlemlerini gerektiren yüksek düzeyde sulu atık oluşumuna yol açacaktır.

Cam yünü süreçlerinde madeni yün filtrelerinin kullanımının ortaya çıkaracağı bir başka olumsuz sonuç malzemenin fırına geri dönüştürülmesinde karşılaşılan büyük güçlülüdür. Elyafı atıkların madeni yün fırınlarında geri dönüştürülmesi konusu Bölüm 4.7’de etraflıca ele alınmaktadır.

İlgili Konular

Avantajlar:

- <20 mg/m³ çapındaki partiküller için yüksek düzeyde giderim etkinliği
- Kullanılan filtre plakaları gerekli tesislerin mevcut olması halinde sürece geri kazandırılabilir.
- Sulu atık üretilmemektedir.
- Düşük sermaye maliyeti
- Düşük basınç düşmesi ve bu nedenle görece düşük işletme maliyetleri ve enerji kullanımı

Dezavantajlar:

- Enerji tüketilmektedir; ancak bu enerji tüketimi diğer ikincil tekniklere nazaran düşük düzeydedir.
- Gazlı maddelerde sınırlı giderim etkinliği
- Cam yünü prosesleri için uygun olduğu düşünülmemektedir.

Tablo 4.27: Taş Yünü filtrelerinin belli başlı avantaj ve dezavantajları

Örnek Tesisler

Rockwool Lapinus, Roermond, Hollanda
Partek Rockwool, Hallekis, İsveç

4.5.6.2 Kürleme Fırını

Islak ürün altlığı yaklaşık 250°C sıcaklığındaki fırına girer. Mevcut nem diğer uçucu malzemeye birlikte dışarı atılır ve bağlayıcı işleme başlar. Fırın sıcaklığı ve fırında kalış süresi burada kritik öneme sahiptir. Bağlayıcı yeterince çapraz bağlandırılmalı ancak kesinlikle kürlenmiş malzeme üzerinde bulunmamalıdır yoksa ürün kalitesi bozulacaktır. Fırından kaynaklanan emisyonlar uçucu bağlayıcı malzemelerden, bağlayıcı bozunma ürünlerinden ve fırın yakıcılarındaki yanma ürünlerinden meydana gelir. Genel olarak, cam yünü ürünleri taş yünü ürünlerine nazaran yüksek bağlayıcı seviyesine sahiptir ki bu da daha yüksek emisyon anlamına gelmektedir. Fırın emisyonları arıtılmadıklarında koku yayma eğilimine de sahiptir.

Fırın genellikle gaz alevli olarak ve ekstraksiyon altında çalışır. Fırın emisyonları yapışkan olup ekstraksiyon sistemindeki yanıcı madde birikmesi nedeniyle özellikle cam yünü fırınlarında olası bir yangın riskini de beraberinde getirmektedirler. Olası yangınları önlemek için gaz akımı mutlaka ya sulu fırçalama işlemine tabi tutulmalı ya da mevcut kirleticilerin yapışkan niteliğini yok etmek için ilave ısıya maruz bırakılmalıdır. Yakma işleminin bulunmadığı proseslerde reçineli malzeme birikmesinin önüne geçmek ve olası yangınları önlemek için ekstraksiyon kanal sistemi üzerine su püskürtülür. Su spreyi aynı zamanda gaz akımınca taşınan bazı malzemelerin giderilmesini de sağlayacaktır.

4.5.6.2.1 Darbeli Fıskiyeler ve Siklonlar

Tekniğin Açıklaması

Teknik yukarıdaki Bölüm 4.5.6.1.1’de açıklanmaktadır ancak göz önünde bulundurulması gereken birkaç husus daha bulunmaktadır. Fırından kaynaklanan atık gaz şekillendirme alanı atık gazına nazaran çok daha düşük bir hacme ve daha yüksek bir sıcaklığa sahiptir. Bu nedenle özellikle cam yünü proseslerinde kanal sistemi içinde reçineli malzeme oluşumu bir yangın ve hatta patlama riskini beraberinde getirmektedir. Gaz üzerine püskürtülen su önemli bir soğutma etkisine sahiptir ve bu işlem sonucunda atık gaz içindeki bazı maddelerin yoğunlaşması da sağlanır. Bu, atık gaz içindeki söz konusu maddelerin mutlaka giderileceği anlamına gelmemektedir. Malzeme sistemin ilk kısımlarında kirli proses suyundan uçurulacaktır.

Çevresel Performans

Düşük seviyede basınç düşmesi sebebiyle ince partikül maddeler ve damlacıkların giderim etkinliği son derece düşüktür. Aynen şekillendirme alanında olduğu gibi burada da sistem dinamik dengededir ve gaz emisyonları büyük ölçüde proses suyunun ve bağlayıcı maddenin kimyasal özelliklerine bağlıdır. Bu teknik kullanılarak ulaşılabilen seviyeler Tablo 4.29’da verilmektedir.

Mali Konular

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.30’da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Maliyetinin ne kadarının azaltma maliyeti olarak kabul edilebileceği meselesi şekillendirme alanıyla aynı niteliktedir.

Uygulanabilirlik

Şekillendirme alanında olduğu gibi bu teknik de prensip olarak tüm madeni yün prosesleri için geçerlidir. Teknik pek çok taş yünü tesisinde kullanılmamakta; çünkü proses temizliği açısından zorunlu kabul edilmemekte ve kullanılmakta olan diğer azaltma teknikleri üzerinde olumsuz etkilere sebebiyet verebilmektedir. Darbeli fıskiyeler ve siklonlar cam yünü tesislerinin yaklaşık %90’ında kütleme fırını emisyonları için (sıklıkla şekillendirme alanı ve kütleme fırını emisyonları için birlikte) taş yünü tesislerinin ise yaklaşık %10’unda ise ya ayrı olarak ya da diğer ıslak tekniklerle birlikte kullanılır.

4.5.6.2.2 Islak Elektrostatik Çökelticiler

Teknik Bölüm 4.5.6.1.2’de şekillendirme alanı için tanımlanmaktadır ve anılan bölümde yapılan açıklamalar fırın emisyonları için de aynı şekilde geçerlidir. Kütleme fırınları ile ilgili olarak göz önünde bulundurulması gereken ana konular hacmin çok daha küçük ve kirletici yoğunluklarının birbirinden farklı olması, genel olarak partiküllerin daha düşük olması, fenolün karşılaştırılabilir seviyelerde olması, ancak amonyak ve formaldehidin önemli ölçüde yüksek seviyelerde olmasıdır.

Madeni yün endüstrisinde (fırça likörü olarak proses suyu kullanan) dolgu yatak fırçaları ile erişilebilecek emisyon seviyeleri Tablo 4.29’da verilmektedir. Ayrıntılı bilgi için lütfen bkz Bölüm 4.5.6.1.2. Fırın emisyonları gazlı emisyonlarda şekillendirme alanı emisyonlarına nazaran yüksektir. Bu yüzden genel etkinlik seviyesi de daha yüksek olabilir. Yine aynı şekilde, bu da kullanılan temiz su miktarına ve bağlayıcının ve proses suyunun kimyasal özelliklerine bağlı olacaktır.

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.30’da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Verilen maliyetler kombine şekillendirme ve kütleme emisyonları içindir. Islak fırçalarla artırılan kütleme emisyonlarına ilişkin örneklerin çok büyük bir kısmı kombine emisyonlar içindir ve düşük hacim nedeniyle ekstra maliyetler genellikle düşüktür. Verilen maliyetlerdeki farklılıklar büyük ölçüde hava akımına bağlıdır ve

söz konusu maliyet ölçeklenerek kütleme fırını emisyonlarının arıtılmasına ilişkin kaba bir tahminde bulunulabilir. Ancak yine de maliyet ilişkisinin doğrusal bir ilişki olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Prensip olarak, bu teknik tüm tesisler için geçerlidir. Ayrıntılı bilgi için lütfen bkz Bölüm 4.5.6.1.2.

4.5.6.2.3 Islak Elektrostatik Çökelticiler

Teknik Bölüm 4.5.6.1.2’de şekillendirme alanı için tanımlanmaktadır ve anılan bölümde yapılan açıklamalar fırın emisyonları için de aynı şekilde geçerlidir. Islak elektrostatik çökelticilerin yalnızca fırın emisyonlarının arıtımı için kullanımı çok yaygın değildir. Bu sistemler genellikle kombine emisyonlar için tercih edilmektedir. Atık gaz akımındaki gazlı ve kokulu maddelerin görece yüksek yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle ıslak elektrostatik çökelticiler tek başına fırın emisyonları için düşünülecek ilk azaltma tekniği olmayacaktır. Bununla birlikte, şekillendirme alanı emisyonları ile birleştirildiğinde bu işleme için seyreltme gerekliliği de göz önünde bulundurulduğunda ıslak elektrostatik çökeltici makul bir seçenek haline gelecektir.

Bu teknikle elde edilen emisyon seviyeleri Tablo 4.29’da, maliyetler ise Tablo 4.30’da verilmektedir. İlke olarak, bu teknik hem yeni hem de mevcut tesisler için geçerlidir.

4.5.6.2.4 Atık Gaz Yakma

Tekniğin Açıklaması

Yakma tekniği endüstriyel proseslerden arta kalan organik emisyonların kontrolünde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Yakma tekniği malzemeyi yok etme (böylece geri kazanımı engelleme), işlemin gerçekleştirilmesi için enerji takviyesini gerektirme ve karbondioksit ve azot oksitleri ortaya çıkarma gibi dezavantajlara sahiptir. Bununla birlikte enerji etkinliğini sağlayacak şekilde tasarlanabilir ve kurutma veya kürlleme işlemlerine enerji temini sürecinin bir parçası olarak da kullanılabilir. Yakma tesisleri ısı yakıcılar ($>750^{\circ}\text{C}$) ve katalitik yakıcılar (350 ila 400°C) olmak üzere iki tiptirler.

Isıl yakma işlemi organik bileşenleri ısı oksidasyon yoluyla karbondioksit, su, sülfür ve azot oksitleri ve diğer yanma ürünlerine parçalar. Etkin ve verimli bir yakma işleminin ana gereklilikleri:

- Yanma işleminin tam anlamıyla gerçekleşmesini temin etmek için yanma odasında kalma süresinin yeterince uzun olması gerekir. %99’lık bir imha verimliliği için ilgili sıcaklıkta kalma süresi genellikle 1 ila 4 saniyedir.
- İşletme sıcaklığı atık kümesi içindeki en kararlı maddenin oto-ateşlenme ısısının $200 - 400^{\circ}\text{C}$ üzerinde olmalıdır; tipik işletme sıcaklığı 800°C civarındadır. Gaz akımının klorlu ve aromatik maddeler içerdiği durumlarda söz konusu sıcaklıklar $1100-1200^{\circ}\text{C}$ ’ye yükseltilmelidir ve bu durumda dioksin oluşumunun engellenmesi için hızlı baca gazı soğutması uygulamasına ihtiyaç vardır.
- Yanma bölgesinde etkin ısı ve kütle transferinin sağlanması ve “soğuk bölgelerin” önlenmesi için türbülans sağlanmalıdır. Bu ise genellikle türbülanslı yanma alevi üreten yakıcılar kullanılarak ve yanma odasındaki bölmeler birleştirilerek sağlanır.

Katalitik yakma işlemi bu sektörde uygulanabilir bir teknik olarak görünmemektedir. Çünkü yüksek partikül yüklemesi ve reçineli malzemelerin varlığı katalist zehirlenmesine yol açar.

Çevresel Performans

Yakma işlemi organik maddelerin atık gaz akımlarından giderilmesi için son derece etkin ve verimli bir tekniktir; ancak inorganik partikül maddelerin azaltılmasını sağlamaz. Organik maddelerin oksidasyonu CO_2 ve NO_x emisyonlarının artmasına neden olur. Ancak bu emisyonun imha edilen maddelerin salınımına tercih edileceği kabul edilmektedir. Kürlleme fırınlarından kaynaklanan atık gaz aynı zamanda amonyak ve diğer azot ihtiva eden maddeleri de içermektedir. Bu maddeler kısmen veya tamamen oksitlenerek NO_x üretirler. İyi tasarlanmış bir yakma tesisi toplam organik bileşenleri 10 mg/m^3 seviyesinin altına düşürür. Bu teknik kullanılarak ulaşılabilen seviyeler Tablo 4.29’da verilmektedir.

Mali Konular

Bu tekniğin maliyetleri Tablo 4.30'da verilmekte olup büyük ölçüde hava akımına ve tesis büyüklüğüne bağlıdır. Bir yakma tesisinin ekonomik olup olmaması büyük ölçüde bu işlemin sağladığı ısı geri kazanım fırsatlarına bağlıdır. Maliyetler de bir dizi faktöre bağlıdır. Bunlardan en önemlileri:

- Arıtılacak atık gazın hacmi. Bu hacim kullanılacak yakma odasının boyutlarını belirleyecektir.
- Atık gazın sıcaklığı. Bu sıcaklık yakma ekipmanının tasarımı ve yardımcı yakıt gereksinimlerini belirleyecektir.
- Gazın kalori değeri. Yardımcı yakıt gereksinimlerini belirler.
- Yakma sıcaklığı. İnşaat malzemesini belirler.
- Kullanılan araç gereç
- Isı geri kazanım seçenekleri ve
- Tesis kurulum gereklilikleri; iç mekan, dış mekan, zemin seviyesi, çatı yüksekliği vb.

Uygulanabilirlik

Bu belgenin kaleme alındığı zaman itibarıyla teknik yalnızca taş yünü kürlleme fırınlarından kaynaklanan emisyonların arıtımı amacıyla kullanılmakta olup mevcut tesislerin %60 ila 70'i bu yöntemi tercih etmektedir. Yüksek hacim, düşük yoğunluk, düşük sıcaklık ve bazen de yüksek nem muhtevası gibi sebeplerle teknik şekillendirme alanı atık gazlarının arıtımında aşırı derecede pahalı bir yaklaşım olarak düşünülmektedir. İlke olarak, bu teknik hem yeni hem de mevcut tesisler için geçerlidir.

Taş yünü kürlleme fırınları ürünün düşük hava geçirgenliği nedeniyle görece yüksek diferansiyel basınç altında işletilmek üzere tasarlanmaktadır. Bu da görece sofistike basınç kontrol tedbirlerinin uygulanmasını gerektirmekte ve yüksek sıcaklığa, üretilen üretime bağlı olarak değişkenlik gösteren düşük akış egzozuna yol açmakta ve yakma işlemini çekici hale getirmektedir.

Cam yünü kürlleme fırınları daha düşük bir diferansiyel basınç gerektirmekte ve büyük bir kontrol aralığını gerektirmemektedir. Ayrıca atık gaz genel olarak daha yüksek bir hacme ve daha düşük sıcaklığa sahiptir. Bu durum yakma işlemini daha az çekici bir seçenek haline getirmekte; proses suyu kullanım olanaklarının mevcudiyeti ile bir araya geldiğinde ise sektörün yakma yerine ıslak fırçalamayı tercih etmesine yol açmaktadır. Cam yünü proseslerinde genellikle kürlleme fırını emisyonlarının şekillendirme alanı emisyonlarıyla birlikte tek bir teknik içinde arıtılması şeklinde çoğu zaman çok daha ekonomik olan bir seçenek bulunmaktadır. İlke olarak, cam yünü kürlleme emisyonlarının neden yakma işlemi yoluyla azaltılamadığına ilişkin teknik bir gerekçe yoktur. Ancak bu yöntem genellikle taş yünü proseslerine nazaran daha pahalı olduğundan en maliyet-etkin yaklaşım olarak görünmemektedir.

İlgili Konular

Avantajlar:

- Organik kirleticiler ve kokuların imha edilmesinde yüksek etkinlik
- Sulu veya katı atık üretilmemektedir.
- Yerinde uygulamalarda görece düşük maliyetler

Dezavantajlar:

- Gazın kalori değeri yanmayı desteklemek için yeterli olmadığından enerji takviyesine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Karbondioksit ve azot oksitleri salınmaktadır.
- İnorganik partikül maddelerde düşük giderim etkinliği.
- Cam yünü proseslerinde önemli ölçüde yüksek maliyet.

Tablo 4.28: Yakma İşleminin Belli Başlı Avantaj ve Dezavantajları

Örnek Tesisler

Rockwool Lapinus, Roermond, Hollanda
Partek Rockwool, Hallekis, İsveç
Owens Corning, Queensferry, Britanya

4.5.6.3 Ürün Soğutma

Fırını terk ettikten sonra kabul edilebilir bir sıcaklığa kadar soğutulması için ürünün büyük miktarda (tipik olarak 10.000 ila 40.000 m³/saat) havanın içinden geçirilmesi gerekmektedir. Bu gaz muhtemelen fiber, partiküller ve kürlenmiş bağlayıcı ile düşük miktarda ve belki kokulu da olabilecek organik bir buğu içermektedir. Bu gaz akımı sektör geneli için en önemli konulardan birini oluşturmamakla birlikte yerel ölçekli bir takım sorunlara yol açabilmektedir. Gazın arıtılmasında kullanılan üç ana yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin tümünün örnekleri sektörde bulunabilir ve tümü de gerçekleştirilebilir yöntemler olarak kabul edilmektedir. Her üç yöntem de görece düşük emisyon seviyelerinin elde edilmesine imkan tanımaktadır ve bunlardan hangisinin tercih edileceği yerel koşullara bağlıdır. Bazı durumlarda emisyonların çok düşük seviyede olması durumunda ikincil azaltma tekniklerinin uygulanmasına gerek kalmayabilir.

- Kullanılacak bir filtre sistemi zemin seviyesinde oluşabilecek kokuları önlemek üzere tozu yeterli hız ve yükseklikte deşarj edebilecektir.
- Yeterli düzeyde dağılım sağlayan bir ıslak fırçalama sistemi. Venturi tip bir sistem olası en düşük partikül ve duman emisyonunu sağlayacaktır.
- Soğutma havasının şekillendirme alanı veya kürlenme fırını atık gaz arıtım sistemiyle birlikte kullanılması

Son seçenekte verilen kombinasyon seçeneği çoğu durumda en çevreci ve ekonomik bakımdan en verimli yöntemdir.

4.5.6.4 Ürün İmalat ve Paketlemesi

Madeni yün prosesleri bir dizi ürün düzeltme, kesme ve dilimleme işlemini gerektirmekte, bu süreçler de toz emisyonlarına neden olmaktadır. Bu emisyonların arıtımı için kabul edilen yöntem etkin bir toplama ve ekstraksiyon ile başlayıp daha sonra da çıkarılan havanın genellikle bir torba filtreden meydana gelen etkin bir toz giderim sistemi içinden geçirilmesi şeklindedir. Paketleme işlemleri de olası toz emisyonu kaynakları arasında yer almaktadır ve bunların da bir şekilde arıtılması gerekmektedir.

Bu işlemlerden kaynaklanan gazların hacmi geniş bir aralık içinde (5000 ila 70000 m³/saat) değişim göstermektedir. Azaltma ekipmanının sermaye ve işletim maliyetlerini en aza indirmek için, bu şekilde çıkarılan havanın hacmi iyi bir toz toplama sistemi vasıtasıyla uygun olan en düşük seviyeye düşürülmelidir.

4.5.6.5 Madeni Yün İmalatından Kaynaklanan Kokular

Teknik koku değerlendirmesi zor, pahalı ve muhtemelen subjektif sonuçlar vermeye adaydır ve bu konuda mevcut bilgilerimiz kısıtlıdır. Ancak madeni yün tesisleri yöre sakinlerinden koku konusunda şikayetler almaktadır. Bu sorun daha gelişkin işletim ve kontrol yöntemlerinin kullanılmasına paralel olarak son yıllarda azalmış olmakla birlikte pek çok tesis için halen daha önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Bu bölümde ergitme dahil olmak üzere prosesin tüm parçalarından kaynaklanan kokular ele alınmaktadır.

Konvansiyonel hava-gaz ateşlemeli ve oksijen-gaz ateşlemeli fırınlar geri dönüştürülen malzeme eritilse bile kullanılan yüksek sıcaklık seviyeleri nedeniyle koku sorununa yol açmamaktadır. Elektrikli soğut eriticiler nadiren, o da ancak madeni yün atığının geri dönüştürülmesi durumunda koku sorununa yol açmaktadır. Bağlayıcı malzemeler ergitme işlemi sırasında kısmi ısıl bozunmaya uğrayabilmekte ve bu durumda bazı koku yayıcı maddeler salınabilmektedir. Bu sorun oksidasyon ajanı takviyesiyle veya fiberin ön-arıtımı yoluyla en alt seviyeye indirilebilir.

Döküm ocağı eritme işlemleri önemli miktarda kokulu hidrojen sülfid emisyonuna yol açar. Bu sorunun çözümü ise geri dönüştürülen malzemeden veya hammaddelerden kaynaklanan diğer koku emisyonlarının giderimi için de kullanılan, fırın-sonrası yakma işlemidir.

Kokunun önde gelen kaynağı özellikle şekillendirme ve kürlenme olmak üzere süreç sonrası işlemlerdir. Koku aynı zamanda özellikle yoğun ve yüksek bağlayıcı içeren ürünlerde veya aşırı-kürlenme derecesinin uygulandığı hallerde ürün soğutma işleminden de kaynaklanabilir. Proseste kullanılan tekil kimyasal maddelerden kaynaklanan kokuların çok önemli bir unsur olduğu düşünülmemektedir. Koku esas olarak proseste kullanılan organik bağlayıcının kimyasal ve ısıl tepkimelerinden ileri gelmektedir. Karakteristik koku “Yanmış Bakalit” kokusudur. Formaldehit veya amonyak kokusu için tesis dışından çok az şikayet gelmektedir.

Kokuların büyük çoğunluğunun kürlenme fırınından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü ana kimyasal reaksiyonlar ve ısıl prosesler bu fırında gerçekleşmektedir. Ayrıca kurutma prosesi de bağlayıcı bileşiklerden ve ara maddelerden kaynaklanan belli miktarda buhar damıtmasına neden olur. Çoğu kürlenme fırınının iç kısmı fırın sıcaklığının etkisiyle kokulu bileşiklerin ortaya çıkmasına sebep olan elyaflı ve reçineli malzeme oluşumu gösterir. Ayrıca küçük ateşler ve belli noktalardaki içten yanma durumları da kürlenme fırınlarında sıkça karşılaşılan durumlardan biri olup buradan kaynaklanan duman ve ısı çok kokulu olabilir.

Koku durumları fırın bakım ve temizliğinin gereğince yerine getirilmesiyle, ıslak fırçalama sistemleriyle ve ortaya çıkabilecek herhangi bir yangının hızla söndürülebilmesi için yeterli dağılımın sağlanmasıyla büyük ölçüde azaltılabilir. Kürlenme fırını atık gazlarının yakılması da sorunun çok etkin bir çözüm yöntemidir.

Şekillendirme alanı faaliyetleri de özellikle bağlayıcının sıcak elyaflar üzerine püskürtüldüğü hallerde kokulu bileşiklerin meydana gelmesine neden olabilir. Ancak atmosfer daha soğuktur ve bu nedenle nem oranı kürlenme fırınından daha yüksektir. Ayrıca gaz hacimleri de çok daha yüksek olup kokulu bileşiklerin yoğunlukları da seyrelmiş haldedir. Buna karşın, şekillendirme alanından oldukça önemli miktarda kokulu bileşik kütlesi serbest bırakılmaktadır ve koku yalnızca bileşiğin koku eşiğinin üzerinde bir yoğunluğa sahip olması durumunda “var olur”. Bu yüzden şekillendirme alanı emisyonları genellikle kürlenme fırını emisyonlarından daha az kokuludur. Eğer şekillendirme alanı emisyonları kokuya sebep oluyorsa bunlar ıslak fırçalama yöntemiyle ve yeterince dağıtılarak en alt seviyeye düşürülebilir. Sorun yaratan kokular bir oksitleme maddesi kullanan ıslak fırçalama yöntemiyle çözülebilir; ancak bu yöntem proses suyu sisteminden ayrı gerçekleştirilmek zorunda olacaktır. Kimyasal ıslak fırçalama işlemine ilişkin konular Bölüm 4.5.6.1.2’de ele alınmaktadır.

Madde mg/Nm ³ (kg/ton ürün)	Partikül	Fenol ⁽¹⁾	Formaldehit ⁽¹⁾	Amonyak ⁽¹⁾	NO _x	CO ₂	Uçucu Org. Bil. ⁽¹⁾⁽²⁾	Aminler ⁽¹⁾⁽⁴⁾
Elyafılama ve şekilleme								
Birincil tedbirler	100 (3.6)	20 (0.8)	15 (0.5)	125 (4.0)			50 (2.2)	20 (0.7)
Taş Yünü Filtresi	20 (0.7)	15 (0.5)	10 (0.4)	75 (2.5)			25 (1.0)	10 (0.4)
Darbe fıskiyesi + siklon	50 (1.8)	15 (0.6)	8 (0.3)	65 (3.0)			30 (1.8)	15
Darbe fıskiyesi + siklon + Islak elekt. Çök.	20 (1.2)	15 (0.6)	8 (0.3)	65 (3.0)			30 (1.8)	15
Darbe fıskiyesi + siklon + PBS	50 (1.8)	12 (0.5)	5 (0.25)	50 (2.5)			25 (1.6)	10
Combined curing and forming								
Birincil tedbirler	100 (4.0)	20 (0.9)	15 (0.6)	125 (8.0)			50 (2.5)	20 (0.8)
Darbe fıskiyesi + siklon	50 (2.0)	15 (0.7)	8 (0.4)	65 (5.0)			30 (2.0)	15 (0.6)
Darbe fıskiyesi + siklon + Islak elekt. Çök.	20 (1.3)	15 (0.7)	8 (0.4)	65 (5.0)			30 (2.0)	15 (0.6)
Darbe fıskiyesi + siklon + PBS	50 (2.)	12 (0.6)	5 (0.3)	50 (4.0)			25 (1.7)	10 (0.4)
Yalnızca Kürleme								
Birincil tedbirler	30 (0.4)	25 (0.1)	25 (0.1)	400 (4.0)	150 (0.5)	60000 (200)	50 (0.3)	10 (0.03)
Yakma	20 (0.1)	5 (0.02)	5 (0.02)	100 (0.4)	200 ⁽³⁾ (0.6)	80000 ⁽³⁾ (230)	10 (0.04)	5 (0.02)
Darbe fıskiyesi + siklon	10 (0.1)	10 (0.1)	8 (0.1)	65 (2.0)	150		20 (0.2)	5 (0.02)
Darbe fıskiyesi + siklon + Islak elekt. Çök.	10 (0.1)	10 (0.1)	8 (0.1)	65 (2.0)	150	60000 (200)	20 (0.2)	5 (0.02)
Darbe fıskiyesi + siklon + PBS	8 (0.1)	8 (0.1)	5 (0.1)	50 (1.5)	150		15 (0.1)	4

Tablo 4.29: Havaya Yönelik hat emisyonlarında genel olarak erişilebilir seviyeler (mg/Nm3)

Notlar: WEP = Islak Elektrostatik Çökeltici, PBS = Dolgulu Yatak Fırçası, VOC = Uçucu Organik Bileşik

- (1) Bağlayıcıyla ilgili bileşiklerden kaynaklanan emisyon bağlayıcı maddenin formülü, proses teknolojisi, işletme koşulları, ürün oranları, spesifik ürün talebi gibi faktörlere bağlıdır. Bu rakamlar bu teknikleri kullanan tesislerin büyük kısmında ulaşılacak emisyon seviyelerini göstermektedir. Birincil tedbirler esas itibarıyla reçine veya bağlayıcı madde formülünde gerçekleştirilen değişiklikleri içermekte olup bu değişiklikler tüm ürünlere ve tüm işletme koşullarına aynı şekilde uygulanamaz. Uygun olmayan koşullar altında, özellikle de yalnızca birincil tedbirlerin kullanıldığı hallerde emisyon seviyeleri burada belirtilen rakamların hayli üstünde gerçekleşebilir. Ancak ikincil teknolojileri kullanan uygunsuz koşullar altında bu rakamların önemli ölçüde altında emisyon seviyelerine ulaşılabilir.
- (2) Uçucu organik bileşik tedbirlerinin sayısı sınırlıdır.
- (3) Üst değer yakma işlemi sebebiyle Birincil Tedbirlerden daha yüksektir.
- (4) Buradaki rakamlar çeşitli tekniklerin 20 mg/Nm3 civarındaki amin giriş hacmi üzerindeki etkisini göstermektedir; ancak Bölüm 4.5.6.1’de de incelendiği gibi, reçinenin / bağlayıcının yeniden formüle edilmesiyle 5 mg/Nm3’ten düşük amin emisyonlarına ulaşılabilir.

Azaltma Tekniği	Tipik Akım (Nm ³ /h)	Yeni bir prosesin yatırım maliyeti (Milyon EUR)	Mevcut bir fabrika için yatırım maliyeti (Milyon EUR)	İşletme Maliyetleri (Milyon EUR/Yıl)
Forming and curing				
Birincil tedbirler	-	-	-	-
Darbe fiskiyesi + siklon	200000 (-50000, + 100000)	1.3 ±30 %	1.6 ±40 %	0.1 ±0.02
Darbe fiskiyesi + siklon + Islak elekt. Çök.	200000 (-50000, + 100000)	3.8 ±30 %	4.6 ±40 %	0.12 ±0.02
Darbe fiskiyesi + siklon + PBS	200000 (-50000, + 100000)	3.5 ± 30 %	4.2 ±40 %	0.21 ±0.02
Yalnızca Şekillendirme				
Taş Yünü Plaka Filtresi	200000 (±50000)	1.3 ±30 %	1.5 ±30 %	0.2 ±0.1
Yalnızca Kürleme				
Yakma Tesisi	20000 (-5000, + 10000)	1.3 ±40 %	1.6 ±30 %	0.2 ±0.1
Baca	250000 (-50000 + 100000)	0.7 ±40 %	0.8 ±40 %	

Tablo 4.30: Azaltma tekniklerinin yatırım ve işletme maliyetleri

4.5.7 Seramik Fiber

Seramik fiber prosesleriyle ilgili birincil çevresel sorun atmosfere gerçekleşen ve seramik elyafı ihtiva etmesi muhtemel partikül madde emisyonlarıdır. Ayrıca bazı ikincil işlemler de özellikle kurutma ve kürleme operasyonları sırasında uçucu organik madde emisyonlarına sebep olabilmektedir.

Partikül ve elyaf emisyonları proses içinde yer alan bir dizi alandan kaynaklanabilmektedir: Bu alanlardan bazıları: Elyaflaştırma ve toplama, iğneleme, yağlama yakma, bölme, kesme, düzeltme, paketleme ve ikincil işlem alanlarıdır. Partikül veya elyaf emisyonunun gerçekleştiği tüm alanlarda bir örgü filtre sistemine açılan etkin bir ekstraksiyon sistemi kullanılabilir.

Partikül yüklü havanın ekstraksiyonu ve filtrelenmesinde iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar:

- Söz konusu emisyonların kaynağına yakın noktalara filtre tesislerinin kurulması ve
- Çok sayıda kaynaktan elde edilen havanın bir dağıtıcı sistem vasıtasıyla ortak bir filtre tesisine yönlendirilmesi.

En etkin filtreleme sistemi yüksek etkinliğe sahip ikincil bir filtre tarafından takip edilen ve bir basınç düşmesi monitörü ile havaya yönelik emisyonların kesintisiz bir şekilde izlenmesini sağlayan birincil bir filtreden meydana gelmektedir. Yüksek etkinliğe sahip ikincil filtreler emisyonların düşük seviyelere düşürülmesini sağlamakta ve birincil filtrenin yetersiz kalması veya arızalanması durumunda bir güvenlik koruması görevini üstlenmektedir. Bir dizi kaynağın genel bir sisteme yönlendirildiği durumlarda ikincil bir filtrenin kurulması gereksiz ölçüde pahalı olacaktır. Ortaya çıkan yüksek hava akımları ve ikincil filtrenin yüksek direnci çok büyük bir fan kullanılmasını gerektirecek, bu da enerji kullanımını aşırı ölçüde artıracaktır. İyi tasarlanmış ve etkin bir şekilde işletilen bir birincil filtreleme sistemi 1 ila 5 mg/Nm³ arasında (elyaflar için <1 mg/Nm³) emisyon seviyelerine ulaşmayı mümkün kılacaktır.

Prosesin birincil filtrelere dayandığı durumlarda bir çeşit torba arıza sistemi güvenlik koruması sağlayacaktır. Pek çok tesis alarmlı basınç düşmesi monitörleri ile teçhiz edilmiş olmakla birlikte tek başına bunlara güvenilemez.

Ekstraksiyon fanının örgü filtrenin temiz tarafına kurulu olduğu filtre sistemleri (negatif basınç sistemleri) genellikle tercih edilen seçenektir. Fanın kirli tarafa kurulu olduğu pozitif basınç sistemleri zararlı olma potansiyelini taşımaktadır; çünkü sistemde fan sonrası meydana gelecek herhangi bir sızıntı malzemenin dışarı salınmasına yol açacaktır.

Örgü filtreler için kullanılan temizleme döngüleri azami filtreleme etkinliğini sağlamak amacıyla en iyileştirilebilir. Bazı uygulamalarda, özellikle de elyaflı emisyonları gerektiren uygulamalarda çalkalama mekanizması ters fiskiye sistemlerinden daha verimli olabilir. Atmosfere veya havaya yönelik herhangi bir emisyonun önüne geçmek için toplanan malzemenin işleme sokulmasını ve bertaraf edilmesini temin etmek çok büyük önem taşımaktadır. Bazı durumlarda toplanan malzemenin fırına geri dönüştürülmesi de mümkün olabilmektedir.

Yağlayıcı yakımı sırasında veya ikincil işlem esnasındaki kürlleme ve kurutma operasyonlarında organik emisyonlar ortaya çıkabilir. İşletme deneyimleri göstermiştir ki bu emisyonlar oldukça düşük seviyelerdedir. Ancak bu emisyonlar önemli düzeyde (söz gelimi >100 g/saat) olmaları halinde birincil formülasyon tedbirleri veya örneğin yakma veya soğurma benzeri standart azaltma tedbirleri devreye sokularak kontrol altına alınabilmektedir.

4.5.8 Cam Hamurları

Cam hamuru üretimi süreç sonrası faaliyetler nedeniyle havaya yönelik önemli herhangi bir spesifik emisyonu neden olmamaktadır. Ürün öğütme ve işleme genellikle ıslak olarak gerçekleştirilmektedir ancak kuru öğütme kullanıldığında veya muhtemel kuru ürün paketleme alanlarında toz kontrol tedbirlerinin alınması gerekebilir. Buradaki en etkili teknik ardından torba filtre sisteminin geldiği ekstraksiyon yöntemi olarak görülmektedir.

4.6 Suya Yönelik Emisyonların Kontrolü Teknikleri

Genel olarak, su çevresine yönelik emisyonlar görece düşük düzeydedir ve bu konuda Cam Endüstrisi özelinde üzerinde durulması gereken az sayıda önemli konu bulunmaktadır. Bu belge pek çok endüstri kolu için geçerli olan ve teknik literatürde çok ayrıntılı bir şekilde ele alınan genel su kirliliği meselelerini kapsamamaktadır. Bu bölüm bu genel konuları kısaca özetlemekle yetinmekte ve uygun görülen noktalarda Cam Endüstrisine özel konular hakkında ayrıntılı bilgi sunmaktadır. Genel olarak, su esas olarak temizlik ve soğutma amacıyla kullanılmakta ve standart teknikler kullanılarak kolayca geri dönüştürülebilmekte veya arıtılmaktadır. Su kirliliğinin önde gelen potansiyel kaynakları aşağıda tanımlanmaktadır.

- Yüzey suyu drenajı,
- Hammadde depolarından kaynaklanan sızıntı veya saçılmalar,
- Sıvı veya katı maddelerle kirletilen alanlardan gelen drenaj suları,
- Ürün temizleme amacıyla kullanılan su,
- Kapalı devre sistemlerden gelen soğutma suyu ve soğutma suyu blöf ve
- Islak fırça sistemi atık suları.

Evsel atık sular bir tarafa konulacak olursa, deşarjlar genellikle yalnızca katı cam parçalarını, bazı yağ atıklarını, bazı çözünebilir cam yapıcı maddeleri (söz gelimi sodyum sülfat gibi) ve soğutma suyu sistemi arıtma kimyasallarını içermektedir. Potansiyel olarak zararlı herhangi bir malzemenin kullanıldığı durumlarda bu maddelerin su devresine karışmasını önleyecek tedbirler alınabilir. Uygulama açısından mümkün olan hallerde kapalı soğutma sistemleri kullanılarak blöf suyu en alt seviyeye düşürülebilir. Eğer gerekliyse emisyonların daha fazla azaltılması için standart kirlilik kontrol tekniklerine başvurulabilir. Örneğin: Çökeltme, eleme, yağ ayırıcıları, nötralizasyon ve belediye atık su şebekesine deşarj.

Sıvı hammadde ve ara madde depolarından kaynaklanan emisyonların kontrolü için standart iyi uygulama örnekleri kullanılabilir.

- Uygun şekilde ölçülendirilmiş kapalı alan oluşturma (setleme),
- Bütünlükten emin olmak için tanklar ve setlemenin teftişi / testi,
- Aşırı doldurma koruması (kesme vanaları, alarmlar vb.)
- Set veya diğer kapalı havza içinde uygun giriş ve dolum noktalarının konumlandırılması.

Cam Endüstrisine özel olduğu kabul edilen konular:

- Cam yünü proses suyu sistemleri,
- Sürekli filaman cam elyaf atık suyu,
- Özel cam (TV Camı),
- Evsel cam (kristal, kristal cam)

Madeni Yün

Madeni yün prosesleri normal koşullar altında net su tüketicisi olan süreçlerdir ve şekillendirme alanlarından ve belli bir ölçüde de kürlleme operasyonlarından havaya önemli miktarda su buharı emisyonuna neden olurlar. Yukarıda belirtilen genel hususlar haricinde herhangi bir başka önemli atık su deşarjı söz konusu değildir. Çoğu proseste bir kapalı döngü proses suyu sistemi kullanılmakta olup (bkz, Şekil 2.11) pratik olarak mümkün olan hallerde soğutma suyu blöf ve temizlik suyu bu sistem içine yönlendirilir. Proses temizlik suları ve bağlayıcı saçılmaları genel olarak proses suyu devresine geri dönüştürülür.

Proses suyu sistemi sınırlı bir hacme sahip olmakla birlikte aşırı yüklü hacimleri tutacak ve daha sonra da sisteme geri blöfleyecek bir tutma tankını da içerecek şekilde tasarlanabilir. Proseste kullanılan malzemelerin büyük çoğunluğu proses suyunun kimyasal yapısıyla uyumludur. Kimyasal madde setleri, saçıntıları ve yağ tutuculardan çevreye küçük miktarlarda atık su bulaşabilir. Bu tür malzemeler proses suyu sistemiyle uyumlu olmadıklarında tutucu bir tanka yönlendirilebilirler. Bu malzemeler çok düşük hacimde olmaları sebebiyle genellikle şehir atık su şebekesine deşarj edilebilecekleri gibi bertaraf için tesis sahası dışına da gönderilebilirler. Tablo 4.31’de listelenen teknikler de kullanılabilir ancak bu denli küçük hacimler söz konusu olduğunda bu teknikler ekonomik olmaktan uzaktır.

Büyük hacimli proses suyu sistemleri yüzey suyu veya cam soğutma suyu gibi temiz su devrelerine kirlilik bulaştırma riski taşımaktadır. Sistemler bu riski en aza indirecek şekilde tasarlanıp işletilebilir. Örneğin temiz su sistemleri kirlilik bulaşma riskinin olduğu alanlardan geçiyorsa mühürlenmelidir.

Sürekli Filaman Fiberglas

Emisyonlar şekillendirme alanından, bağlayıcı hazırlama alanından, temizleme, soğutma, doku / altlık bağlayıcı uygulamalarından ve su bazlı fırçalama sistemlerinden kaynaklanmaktadır. En önemli emisyon kaynağı şekillendirme alanıdır. Şekillendirme prosesi esnasında çıkırıların yüksek hızla hareket etmeleri ve filamanların hareketi nedeniyle uygulanan bağlayıcının belli bir kısmı dışarı atılır. Arıtılmamış atık su içindeki ana kirlitici maddeler bu bağlayıcı maddelerdir. Özellikle bağlayıcı hazırlama alanında çok büyük bir dikkatle gerçekleştirilen işleme usulleri diğer alanlardan kaynaklanan emisyonları önemli ölçüde azaltabilmektedir.

Kirlitici türleri ve bunların yoğunlukları bağlayıcı sistemlerdeki ve işletim uygulamalarındaki farklılıklar nedeniyle büyük değişiklikler arz etmektedir. Atık su kirlitici madde yoğunlukları kullanılan yıkama suyunun seyreltici etkisi nedeniyle bazen son derece düşüktür ancak genellikle yüksek düzeyde bağlayıcı madde kaynaklı organik kirlitici madde içeriğine sahiptirler. Atık akımının genellikle ya şehir kanalizasyon şebekesine deşarj yoluyla ya da Tablo 4.31’de listelenen tekniklerin uygun bir kombinasyonu yoluyla tesis sahasında arıtılarak bertaraf edilmesi gerekmektedir. Eğer atık akımı doğrudan bir su havzasına deşarj edilecekse uygulanacak en etkin yerinde arıtma tekniği biyolojik arıtma olacaktır. Bununla birlikte, arıtma sisteminin dikkatli bir şekilde tasarlanıp işletilmesi gerekmektedir. Çünkü biyolojik arıtmanın verimliliği bazen düşük yoğunluklar ve yüksek oranda polimer türü varlığı nedeniyle azalabilmektedir.

Özel Cam

Özel Cam Sektörü çok çeşitlidir ve bu sektörden suya yönelik emisyonların ve bu emisyonların azaltılması için kullanılabilecek uygun azaltma tedbirlerinin tümünü tanımlamak oldukça güçtür. Bu sektördeki faaliyetlerin büyük kısmı yalnızca yukarıda tanımlanmış olan genel atık su konularını içermektedir. Bununla birlikte, özellikle televizyon camı gibi belli ürünlerin imalatı ıslak bileme veya parlatma işlemlerini gerektirmektedir. Bu işlemler ise bileme ve parlatma yardımcılarını ihtiva eden atık su akımlarına ve kurşun ihtiva edebilen ince cam emisyonlarına yol açmaktadır. Bu atık akımı aşağıda Tablo 4.31’de listelenen standart katı atık bertaraf tekniklerinden bazıları bir arada uygulanarak arıtılabilir. Camdaki kurşun esasen çözünür değildir ve toplam kurşun içeriği de katı atık miktarına bağlıdır.

Evsel Cam

Genel olarak Evsel Cam Sektöründe suya yönelik emisyonlar oldukça düşük düzeydedir. Endüstrideki diğer sektörlerde olduğu gibi en önemli su kullanım amaçları temizleme ve soğutmadır ve emisyonlar soğutma suyu sistemi çamuru, temizlik suyu ve yüzey suyu akımlarını ihtiva etmektedir. Ancak özellikle kurşun kristal ve kristal cam üretimindeki belli faaliyetler daha spesifik emisyon türlerine neden olmaktadır. Bunları belirtmek gerekirse;

- Kesme işlemlerinde kullanılan su kesme işlemi yardımcı maddelerini ve ince cam partiküllerini ihtiva etmektedir. Bu atık akımı standart katı atık ayırma teknikleri kullanılarak arıtılabilir. Bu su, küçük bir bölümü devreden dışarı blöflenmek zorunda kalırsa bile, daha sonra emisyon seviyelerini en alt düzeye indirmek amacıyla kesme işlemlerinde yeniden kullanılabilir. Camda bulunan kurşun esas itibarıyla çözünür değildir.
- Aside daldırıldıktan sonra camın yüzeyinde bir kurşun sülfat tabakası oluşur. Bu tabaka sıcak suyla yıkanır; bu yıkama suyu böylece asidik hale gelir ve dolayısıyla çözünür kurşun sülfat ihtiva edecektir. Bu atık akımı uygun kimyasal ve fiziksel arıtma teknikleri kullanılarak arıtılabilir. Kurşun sülfat kurşunun ayrıştırılması için tepkimeye sokulabilir (söz gelimi kalsiyum karbonatla tepkimeye sokulursa kurşun karbonat meydana gelecektir), ardından genellikle ya ko-agülasyon (topaklaşma) ya da flokülasyon (kümeleşme) yöntemiyle fiziksel ayırmaya uğratarak giderilir. Bu teknikler kullanılarak kurşun emisyonunun <0.5 mg/l seviyesine düşürülmesi mümkündür.
- Islak fırçalardan kaynaklanan asidik atık akımının deşarj öncesinde nötrleştirilmesi gerekmektedir. Bir başka alternatif olarak hekza-flor-silisik asit geri kazanılabilir ve kimyasal hammadde olarak satılabilir.

Fiziksel / Kimyasal Arıtma	
• Eleme	• Nötrleştirme
• Sıyırma	• Havalandırma
• Çöktürme	• Çökeltme
• Santrifüj	• Ko-agülasyon ve flokülasyon
• Filtreleme	
Biyolojik Arıtma	
• Aktif çamur	
• Biyolojik filtreleme	

Tablo 4.31: Cam Endüstrisinde kullanılabilecek olası atık su arıtma tekniklerinin listesi

4.7 Diğer Atıkların En Aza İndirilmesi Teknikleri

Cam endüstrisinin bir özelliği bu sektördeki faaliyetlerin büyük kısmının görece düşük seviyelerde katı atık ürettiği olmasıdır. Proseslerin büyük çoğunluğu önemli düzeyde prosese içkin yan ürün akımına sahip değildir. Proses atıkları kullanılmayan hammaddelerden ve ürüne dönüştürülemediği olan atık camdan meydana gelmektedir. Cam endüstrisinde karşılaşılan en önemli proses atıkları ve bunların kontrolü için başvurulan teknikler aşağıda ele alınmaktadır.

Atık Yığını Maddeleri

Bunlar işleme ve depolama proseslerinden kaynaklanmakta olup kalite gereklilikleri izin verdiğinde yeniden prosese geri dönüştürülebilmektedirler. Malzemenin herhangi bir noktada yığıldığı hallerde bu maddeler geri dönüşüme uygun saflıkta olmayabilirler ancak bu tip maddelerin miktarı Bölüm 4.3'te açıklanan teknikler kullanılarak en alt düzeye indirilebilir.

Atık Gaz Akımlarından Toplanan Toz

Bu malzeme çoğu durumda prosese geri dönüştürülebilir. Asit gaz soğurucularının kullanıldığı durumlarda yığın kompozisyonunun ayarlanması gerekmesine rağmen bu maddeler genellikle geri dönüşüm işlemini mümkün kılacak hammaddelerle uygun olacak şekilde seçilebilirler. Bu konu Bölüm 4.4.1'de daha ayrıntılı olarak incelenmektedir.

Yenilemeli fırınlarda fırın çalışması sırasında yenileyicilerde önemli miktarda toz birikir. Yeniden inşa / onarım sırasında bu malzeme temizlenerek lisanslı uygun bir sahada bertaraf edilir. Bu malzemenin pratikte geri dönüştürülmesi genellikle mümkün değildir.

Ürüne Dönüştürülmeyen Eriyik

Bu atık akımı esas olarak şekillendirme proseslerinin arıza veya ürün değişikliği gibi sebeplerle kesintiye uğradığı hallerde ortaya çıkar. Bu atık akımlarında en yaygın şekilde kullanılan ve aynı zamanda en etkili olan teknik söz konusu eriyiği soğutup parçalamak ve bu şekilde oluşturulan kırıkları daha sonra doğrudan hammadde olarak kullanmaktır. Bunun pratik olarak mümkün olmadığı veya pratikte uygulanmadığı bir dizi örnek sayılabilir.

Yüzdürme cam prosesinde üretim hattındaki kesintiler genellikle yüzdürme banyosundan sonra meydana gelir ve bu yüzden atık genellikle katı cam halindedir. Bu cam da kırılarak hurda cam olarak geri dönüştürülebilir. Benzer şekilde, sürekli filaman cam elyafı üretimindeki kesintiler de genel olarak elyaf şekillendirme aşamasından sonra meydana gelir ve burada ortaya çıkan atık madde de elyafıdır. Bu tip atığın bir başka kaynağı oluk camıdır. Oluk camında daha yoğun erimemiş partikülleri gidermek için kanalın alt kısmından alınan eriyik cam akımının geri çekilmesi gerekmektedir. Eğer bu partiküller giderilmezse elyaflama sorunlarına yol açacaklar, bu da çözümü pahalı hasarlara ve daha fazla atık madde oluşmasına neden olacaktır. Bu malzemenin süreç içinde geri dönüştürülmesi genellikle arzu edilir bir durum değildir. Çünkü bu uygulama kovanlara geri akacak olan katışık malzemenin fırına geri gönderilmesini gerektirmektedir. Bu da eritilemeyen malzemenin kademeli olarak birikmesine ve elyaflama sorunlarından ileri gelen muhtemel yüksek düzeyde atık oluşumuna yol açabilecektir. Bu malzemenin Cam Endüstrisinin diğer alanlarında bazı durumlarda geri dönüştürülmesi mümkündür.

Seramik elyafı sektöründe atık eriyiğin geri dönüştürülmesini güdüleyecek mali motivasyon hep çok düşük seviyede olagelmıştır ancak bertaraf maliyetleri yükseldikçe bu alandaki uygulamalarda da artış eğilimi gözlemlenmektedir.

Taş yünü üretiminde ince malzemeler döküm ocağına geri dönüştürülememektedir; çünkü bunlar malzeme yatağındaki hava akımını kesintiye uğratmaktadır. Bu sorun atık malzemenin standart hammaddelerle karşılaştırılabilir ölçekte parçalar oluşturmak üzer briketlenmesi yoluyla çözülebilir. Bu teknik bugün yaygın olarak kullanılmakta olup sağladığı mali faydalar ölçeğe bağlı olmasına rağmen gerek ekonomik ve gerekse teknik bakımdan faydası kanıtlanmış bir yaklaşım olarak kabul görmektedir. Taş yünü parçaları da bu şekilde geri dönüştürülebilir (Bkz, Bölüm 3.8.4).

Atık Ürün

Bu kategori spesifikasyon dışı maddeleri, kenar düzeltmelerini, büyük değişikliklerden ileri gelen atık ürünleri, kırıkları ve kalite numunelerini içermektedir. Eğer mümkünse bu tip atığın en asgari seviyeye indirilmesi için uygulanacak tedbirler geri dönüşüm uygulamalarına tercih edilir. Örneğin kenar düzeltmeleri mümkün olan en küçük genişliğe azaltılabilir. Bu tedbirler genellikle işletme için ekonomik fayda sonucunu doğuracaktır.

Örneğin düz cam köşe düzeltmeleri ve konteynır cam atıkları gibi “sert” atıklar kırma işleminden sonra hurda cam olarak geri dönüştürülmektedir. Bazı tesislerde ürün formülasyonundaki farklılıklar veya yalnızca ekonomik bakımdan çekici bir seçenek olarak görülüyor olması gibi sebeplerle bu uygulama rağbet görmeyebilir. Teorik olarak tüm “sert” cam atıkları bu şekilde geri dönüştürülebilir. Madeni Yün sektöründe bu tür ürün atıkları elyaflıdır ve bu nedenle doğrudan fırına geri dönüştürülemez. Bu sorunun çözümü ise malzemeyi öğütmek veya kırmak ve daha sonra da bunu toz olarak tank fırınlarına veya taş yünü döküm ocakları için briketleme prosesiyle geri dönüştürmektir. Görünürde kolay olmakla birlikte bu teknik oldukça pahalıdır ve ancak son yıllarda artan bertaraf maliyetleri nedeniyle ekonomik bir seçenek haline gelmeye başlamıştır. Bu belgenin yazıldığı tarih itibarıyla bu teknik pratikte halen daha yaygınlık kazanmamıştır. Cam yünü üretimindeki bir başka sorun malzemenin organik muhtevasıdır ki bu da fırında oksitleme işleminin gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu işlem tepkime sonrasında NOx açığa çıkarmak üzere giderek artan miktarda azot kullanımını gerektirmektedir. Eğer mümkünse elyaflı malzeme işlenir ve üfleme yünü olarak satılır. Köşe düzeltme atığı genellikle kıyılarak doğrudan elyaf tülüne geri dönüştürülür. Bu şekilde geri dönüştürülebilecek atık miktarı sınırlıdır (yalnızca köşe düzeltme) ve yüksek güç gerektiren ürünlerde kullanılması genellikle mümkün değildir.

Seramik elyaf Sektöründen kaynaklanan elyaf atığı Madeni Yün ile aynı süreçleri gerektirmektedir. Teknik teorik olarak mümkün olmakla birlikte bu metnin yazıldığı tarihte elyaf atıklarının geri dönüştürülmesine dair bilinen herhangi bir örnek bulunmamaktaydı. Atık öğütülerek toz haline getirilebilir ve daha sonra eğer gerekliyse organik malzemelerin yakılması için ısıtılabilir. Bu yaklaşımın çevresel ve ekonomik sonuçları tekniği cazip bir seçenek kılmamaktadır. Bu alandaki çalışmalar halen daha devam etmektedir.

Sürekli filaman cam elyafı imalatı çok yüksek bir kalite düzeyini gerektirmektedir ve bu belgenin yazıldığı tarihte fırına dönüştürülen atık elyafa dair bilinen herhangi bir tam ölçekli örnek bulunmamaktaydı. Buradaki sorun görüldüğü kadarıyla elyafın organik içeriğinden kaynaklanmaktadır.

Atık Su Sistemlerindeki Katı Atıklar

Genel olarak proses suyu sistemlerinden ayrıştırılan atıklar geri dönüştürülmemekte ve düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Özellikle evsel cam olmak üzere (kurşun kristal ve kristal cam) bazı sektörlerde bu atık akımlarını geri kazanmak ve değerlendirmek için hali hazırda bazı çalışmalar devam etmektedir. Çoğu sektörde bu atığın geri kazanımı ya düşük hacimler ya da tahmin edilemeyen / kirlenmiş atık bileşimi nedeniyle iktisaden sürdürülebilir görünmemektedir.

Tüketim sonrası atıkların geri dönüştürülmesi konusu (söz gelimi şişe bankaları) bu atıklar proses atık akımına dahil olmadıklarından bu bölümde incelenmemekte ve bu bağlamda IPPC kapsamının dışında kalmaktadır. Ancak bunun kullanımı proses üzerinde önemli etki yaratmaktadır ve Bölüm 4.4 ve 4.8’de ele alınmaktadır. Dahası bu yöndeki uygulamalar el değmemiş ham maddelerin tüketimini azaltmakta olup bu da IPPC kapsamında önem taşıyan unsurlar arasında yer almaktadır.

4.8 Enerji

Cam yapımı enerji yoğun bir süreçtir ve enerji kaynağının, ısıtma tekniğinin ve ısı geri kazanım yönteminin seçimi bu sektörde kullanılacak fırınların tasarımında ve prosesin ekonomik performansında merkezi öneme sahiptir. Bu seçimler aynı zamanda eritme işleminin çevresel performansını ve enerji etkinliğini de etkileyen en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Genel olarak, camı eritmek için ihtiyaç duyulan enerji toplam enerji kullanımının %75’inden fazla bir kısmını meydana getirmektedir. Bu bölüm eritme faaliyetlerindeki enerji kullanımını azaltmayı amaçlayan teknikler üzerine odaklanmaktadır.

Ergitme işlemi için kullanılan enerjinin maliyeti cam tesislerinin işletme maliyetlerinin en önemli kalemlerinden biridir ve bu faaliyetlerde enerji kullanımının azaltılması cam tesisi işletmecileri için son derece cazip bir teşviktir. Ekonomik tasarruf geleneksel olarak enerji tasarrufu tekniklerinin uygulanmasında en etkili teşviki oluşturmaktadır; ancak son yıllarda enerji kullanımında çevresel kaygıların rolü de azımsanmayacak ölçüde artış göstermektedir.

Fosil yakıt kullanan fırınlarda enerji kullanımı aynı zamanda her bir ton cam üretimi için gerçekleşen, doğrudan fosil yakıt tüketimi ile ilgili özellikle CO₂, SO₂, NO_x gibi maddelerle partikül emisyon miktarını da etkiler. Bu konular bu bölümün maddeye özel kesimlerinde ele alınmaktadır.

Enerji kullanımı ve enerji verimliliğini etkileyen ana faktörler Bölüm 3'te ele alınmaktadır. Bu bölüm ise fırın etkinliğinin artırılmasına yönelik teknikleri incelemektedir.

4.8.1 Eritme Tekniği ve Fırın Tasarımı

[tm18 CPIV, tm5 EEO, tm14 ETSU]

Kullanılacak eritme tekniğinin seçimi enerji verimliliği üzerinde çok büyük bir etki yaratabilir. Bu tercih ise büyük ölçüde bir dizi ekonomik faktör göz önünde tutularak yapılır. Buradaki ana etmen istenilen üretim oranı ve ilgili sermaye yatırımları ve fırının kullanım ömrü boyunca yapılacak işletme masraflarıdır. İşletme maliyetlerinin önemli bir kısmını enerji kullanımı oluşturmaktadır ve genelde operatör mümkün olan en enerji-etkin tasarımı tercih edecektir.

Konvansiyonel fosil yakıt kullanımlı fırınlarda fırın tasarımındaki temel farklılık ısı geri kazanım sisteminin bir rejeneratöre mi (yenileyici) yoksa reküperatörlere mi (geri kazanıcı) dayalı olacağı tercihten kaynaklanmaktadır. Bu yaklaşımların tasarım ve işletme farklılıkları Bölüm 2'de ele alınmaktadır. Bu yaklaşımlardan hangisinin tercih edileceğinde rol oynayan temel etmen ise Bölüm 4.2'de ayrıntılı bir şekilde incelenen fırın boyutudur.

Rejeneratif fırınlar yanma gazları için yaklaşık 800°C gibi bir ön ısıtma sıcaklığı sağlayan reküperatif fırınlara nazaran yüksek bir ön-ısıtma sıcaklığına, yaklaşık 1400°C'ye erişmektedirler. Bu da onları eritme etkinliği bakımından öne geçirmektedir. Rejeneratif fırınların genellikle daha büyük boyutlu olması ise bu fırınları daha küçük ölçekteki reküperatif fırınlar karşısında daha enerji etkin kılmaktadır. Bunun nedeni yapısal kayıpların fırın boyutları ile ters orantılı olmasıdır. Bunun temel nedeni ise yüzey alanının hacme oranındaki değişimdir. Modern rejeneratif bir fırını genel ısı verimliliği yaklaşık %50, atık gaz kayıpları ise %20 civarında olacaktır. Kalan kısmın büyük bölümünü ise yapısal kayıplar oluşturmaktadır. Reküperatif bir fırının ısı verimliliği ısı geri kazanımı uygulaması olmaksızın %20'ye yakındır.

Rejeneratif fırınlar uç-alevli veya çapraz alevli olabilir. Uç alevli fırınlar yüksek ısı verimliliğe sahipken (yaklaşık %10'a kadar daha fazla) bunların yanma kontrolü daha sınırlıdır ve fırın büyüklüğünün de bir üst sınırı vardır (cam kap için 150 m² civarında). Yüzdürme cam fırınları konteynır cam fırınlarından daha düşük verimliliğe sahiptir; çünkü bir yüzdürme fırının spesifik çekişi kalite gereklilikleri nedeniyle çok daha düşüktür.

Rejeneratörler vasıtasıyla geri kazanılan enerji kullanılan ateşe dayanıklı tuğlaların miktarı artırılarak azami seviyeye çıkartılabilir. Uygulamada bunlar genişletilmiş rejeneratör odacıkları içinde veya birbirinden ayrı ancak bağlantılı yapılar içinde organize edilebilir. Rejeneratör etkinliği asimtotik olarak maksimum limitine yaklaştığından azalan dönüşüm oranları yasa geçerlidir. Temel sınırlayıcılar fazladan döşenen ateşe dayanıklı tuğlaların maliyeti ile mevcut fırınlarda kullanılabilecek alanın kısıtlı olması ve fırın altyapısında yapılacak değişikliklerin ilave maliyetidir. Çapraz alevli fırınlarda kimi uygulamalar gerçekleştirilmiş olmakla birlikte bu ilke sahip oldukları basit rejeneratör geometrisi nedeniyle uç alevli fırınlar için daha geçerlidir. Mevcut fırınlarda rejeneratör yapısında gerçekleştirilen değişiklikler (eğer mevcut tesis planı bu tür bir değişikliği ekonomik ve teknik olarak uygulanabilir kılıyorsa) ancak fırının yeniden inşası sırasında yapılabilir.

Enerji tüketimi tipik tek geçişli jeneratörlerle donatılmış eşdeğer fırınlara nazaran %15 oranında azaltılabilir.

Bunun doğuracağı tek olumsuz sonuç fırının kullanım ömrü sonunda işleme tutulacak olan ateşe dayanıklı malzemelerin artan hacmi olacaktır. Bu olumsuz etki de sınırlıdır. Fazladan kullanılan ateşe dayanıklı malzemelerin önemli bir kısmı iki veya üç fırında daha kullanılabilir. Ayrıca bunların işleme sokulması konusunda çözüm yolları da mevcuttur ve bu malzemelerin geri dönüşümü konusunda her geçen gün yeni ilerlemeler kaydedilmektedir. Çok geçişli rejeneratörlerin kullanıldığı fırınlarda hava ön ısıtma sıcaklıklarının artması alev sıcaklığını ve dolayısıyla NOx oluşumunu yükselten potansiyel bir faktör olmakla birlikte bu fırınlar uygulamada uygun azaltma tedbirleri alındığında yüksek seviyede NOx emisyonlarına sebep olmamaktadır.

Rejeneratörlerde ısı depolama ortamı olarak kullanılabilen çeşitli malzemeler bulunmaktadır. Buna yönelik en basit çözüm açık veya “sepet örgüsü” bir şablon içine istif edilen ateşe dayanıklı tuğlaların kullanılmasıdır. Böylece yaklaşık %50 oranında bir rejeneratör verimliliği sağlanacaktır (hava ile geri kazanılan ısı ile atık gazdaki ısıya oranı). Ancak ısı transferi özel olarak şekillendirilmiş dolgu ve eriyik döküm malzemelerle geliştirilebilir. Örneğin eriyik döküm dalgali haçlar ısı transferi verimliliğini tuğla dolguya oranla %7 artırmaktadır. Buna ilaveten bu malzemeler atık gaz akımındaki uçucu maddelerden kaynaklanan kimyasal etkilere karşı son derece dirençlidir ve kullanım ömrü boyunca performansta (tuğlalara nazaran) çok daha az eksilme gösterirler. Bugüne kadar dünya genelinde toplam 320 adet oluklu haç tesisi rapor edilmiştir ve bunlardan 120’si AB’dedir.

Bir rejeneratörün azami teorik verim oranı %80’dir. Çünkü bir fırından gelen atık gaz kütlesi gelen yanma havası kütlesinden, egzoz gazlarının ısı kapasitesi de yanma havasının ısı kapasitesinden yüksektir. Pratikte verimliliği sınırlayan önemli bir etken maliyetlerdir. Ayrıca rejeneratörler ebat olarak büyüdükçe yapısal kayıplar da daha önemli hale gelmektedir. %70-75’ten daha yüksek verimlilik oranına sahip maliyet-etkin bir rejeneratör tasarımı ise mümkün görünmemektedir.

Fırın geometrisi hem cam kalitesini artırmak hem de enerji tasarrufu sağlamak amacıyla ısı akımlarının ve ısı transferinin en iyileştirilmesi konusunda her geçen gün daha fazla gelişim göstermektedir. Söz konusu gelişmeler yakma sistemlerinde emisyonların azaltılması ve enerji tasarrufu sağlanması yönündeki gelişmelerle bir arada yürümektedir. Fırın geometrisi üzerinde gerçekleştirilen değişikliklerden yalnızca yeni fırınlar veya yeniden inşa faaliyetlerinde yararlanılabilmektedir.

Kısmi veya %100 elektrikle eritme işlemi tesis sahası bazında düşünüldüğünde enerji verimliliğini artırmakta, ancak enerji üretim verimliliği ve dağıtım kayıpları göz önünde bulundurulduğunda bu tekniğin üstünlüğü bir parça belirsiz hale gelmektedir. Bu teknikler Bölüm 4.2’de daha ayrıntılı olarak tanımlanmaktadır. Oksi-yakıt eritme tekniğinde de düşük enerji tüketimi sağlanabilir; ancak bu biraz karmaşık bir konudur ve Bölüm 4.4.2.5’te daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Son on yıllarda ateşe dayanıklı malzemelerde sağlanan gelişmeler fırınların daha uzun sürelerle ve daha yüksek yalıtım seviyelerinde işletilebilmelerine olanak tanımıştır. Fırın altyapısının maruz kalabileceği sıcaklık sınırı geçmişte yüksek yalıtım önünde bir sınırlayıcı faktördü. Bugün yalıtım fırının ilgili kısmına ve işletme koşullarına göre dikkatle tasarlanmalıdır (Sıcaklık, cam tipi, vb). Fırının tüm parçaları yalıtılamaz. Akım yolu ve boğaz yalıtılmadan bırakılmalı ve fırın ömrünü uzatmak için bu kısımlar soğutulmalıdır. Çoğu cam teması ve ateşe dayanıklı üstyapı malzemeleri eriyik döküm malzemeden imal edilmiş olup bunlar düşük gözenekli, çok yoğundur ve sıvı cama ve üstyapıdaki uçucu bileşiklere karşı dayanıklıdır. Bunlar yüksek ısı geçirgenliğe sahiptir ve genelde önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanması için sağlıklı bir yalıtıma ihtiyaç duyarlar. Kalsiyum oksit camında tepe noktası silistedir ve yoğun şekilde yalıtılır. Bu malzeme fırın sıcaklığını 1600 - 1620°C’de sınırlar. Fırın sıcaklığındaki herhangi bir artış NOx emisyonlarını ve uçucu bileşenlerden kaynaklanan diğer emisyonları olumsuz yönde etkileyebilecektir.

Fırının düşük yapısal hasar riski taşıyan belli kısımlarında da ilave yalıtım uygulamasına gidilebilir. Jeneratör yapısına uygulandığında püskürtmeli elyaf yalıtımı da ısı kayıplarını önemli ölçüde azaltabilir. Bu basit maliyet-etkin teknik rejeneratörün yapısal ısı kayıplarını %50’ye kadar azaltabilir ve yaklaşık yüzde 5’lik enerji tasarrufu sağlayabilir. Ayrıca malzeme rejeneratör yapısındaki çatlakları etkili bir şekilde kapatarak sisteme soğuk hava girişini ve sıcak hava çıkışını engellemek gibi ek bir fayda da sağlayacaktır.

4.8.2 Yanma Kontrolü ve Yakıt Seçimi

[tm5 EEO, tm14 ETSU]

Son on yıllarda cam yapımında ağırlıklı olarak tercih edilen yakıt fuel-oil omakla birlikte doğal gazın popülaritesi de giderek artmaktadır. Doğal gaz kullanımı SOx emisyonlarını azaltmakta ancak buna karşılık olarak genelde daha yüksek NOx emisyonlarına sebep olmaktadır. Bunun nedeni doğal gaz alevinin daha az ışınlı olması ve genellikle yaklaşık yüzde 7-8 oranında daha yüksek enerji tüketimine neden olmasıdır. Bununla birlikte gaz yakma konusundaki deneyimler arttıkça performans seviyeleri de petrol kullanımında sağlanan performans düzeyine adım adım yaklaşmaktadır. Doğal gaz karbona göre daha yüksek hidrojen oranına sahiptir ve bu yakıtın kullanımı genel CO2 emisyonlarını kimi zaman yüzde 25'e kadar azaltmaktadır.

Düşük NOx yakma sistemlerinde sağlanan gelişmeler enerji tasarrufu sağlanmasına da katkıda bulunmaktadır. Yanma havası miktarının stokiyometrik seviyelere doğru azaltılması sayesinde atık gaz içinde daha az enerji kaybı gerçekleşmektedir. NOx emisyonlarının azaltılması amacıyla yanma sistemleri, ısı transfer sistemleri ve genel proses kontrolünde sağlanan gelişmeler çoğu durumda fırın işletme ve etkinliğinde de önemli gelişmeler yaşanmasına neden olmuştur.

Geçmişte enerji verimliliğini ve mekanik dayanımı artırmak için sıkça kullanılan bir teknik de yanma havasının oksijen bakımından zenginleştirilmesidir. Azaltılan gaz hacimleri ve daha yüksek alev sıcaklıkları enerji verimliliğini artırmakta ancak teknik sıkı kontrol altında tutulan bir düşük NOx yanma sisteminin parçası olarak kullanılmadığında NOx seviyeleri önemli seviyede artış göstermektedir. Bu teknik sayılan bu çevresel sorunlar nedeniyle yalıtımda daha az tercih edilir hale gelmektedir.

4.8.3 Hurda Cam Kullanımı

[tm29 Infomil, tm14 ETSU]

Bir cam fırınında hurda cam kullanımı enerji tüketimini önemli ölçüde azaltacaktır. Ayrıca hurda cam kullanımı fosil yakıtlı, oksijen-yakıt ateşlemeli veya elektrik ısıtmalı tüm fırın tiplerinde mümkündür. Cam endüstrisindeki çoğu sektör dahili hurda camlarını rutin olarak geri dönüştürmektedir. Bu uygulamanın en önemli istisnalarını ise sürekli filaman cam elyafı (bu sektörde uygulama kalite gereklilikleri nedeniyle mümkün görünmemektedir) ve taş yünü ve cam hamuru üretimi (bu şekilde hurda cam üretilmediği için) oluşturmaktadır. Atık yığınındaki bazı dahili hurda cam seviyesi genellikle yüzde 10 ila 25 arasında değişmektedir.

Hurda camın eritilmesi için hammaddeye nazaran daha düşük enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır; çünkü cam oluşumunu sağlayan endotermik kimyasal tepkimeler hurda camda zaten tamamlanmıştır ve hurda camın kütlesi eşdeğer yığın malzemesine göre yüzde 20 daha düşüktür. Bu nedenle yığındaki hurda cam oranının artması enerji tasarrufunda bir artışı da beraberinde getirecektir. Genel kural olarak her yüzde 10'luk ekstra hurda cam fırının enerji tüketimini yaklaşık yüzde 2,5-3,0 oranında düşürecektir. Hurda cam kullanımı hem enerji ve hem de hammadde gereksinimlerini azalttığından genellikle önemli maliyet tasarrufu sağlar.

Dahili hurda cam (üretim hattından geri dönüştürülen cam) ile harici hurda cam (tüketicilerden veya harici endüstri kaynaklarından geri dönüştürülen cam) arasında bir ayırım yapmak gerekmektedir. Harici hurda camın bileşimi dahili hurda cama göre daha az kesinlik taşımakta ve bu da uygulamada sınırlayıcı bir faktör oluşturmaktadır. Yüksek nihai cam kalitesi gereklilikleri bir üreticinin kullanabileceği harici hurda cam miktarını sınırlandırabilir. Bununla birlikte, Cam kap Sektörü şişe geri dönüşüm programlarından sağlanan önemli miktarda yabancı kaynaklı hurda camı kullanma avantajına sahiptir. Bu metnin yazıldığı tarihte özel programların oluşturulduğu durumlar haricinde harici camın önemli kısmının kullanımı Cam kap Sektörüyle ve bazı alanlarda da Madeni Yün Sektörüyle sınırlıdır. Yüksek kalite gerektiren veya düşük miktarda harici hurda cam kullanma imkanına sahip cam sektörleri (örneğin düz cam) kendi ürettikleri camların atıklarının geri dönüşümünü sağlamak için büyük müşterilerle irtibat kurmayı deneyebilirler.

Cam kap üretiminde hurda cam kullanımı < 20 % ile 90 % gibi çok geniş bir aralıkta değişmekte olup AB ortalaması %48'dir. Geri dönüşüm oranları Üye Ülkeler arasında tüketici-sonrası cam toplama programlarına bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Yüksek kaliteli cam kap ürünleri standart ürünlere nazaran daha düşük hurda cam oranına sahiptir.

Evsel Cam Sektöründe kalite kaygıları proses içinde harici hurda cam kullanımını önleyici bir faktördür. Dahili hurda cam kullanımını sınırlayan faktörler ise doğru kalitede ve uygun bileşime sahip hurda cam miktarının az olmasıdır. Dahili hurda cam kullanımı oranları kalsiyum oksit ürünlerinde ortalama yüzde 25, kurşun kristalde ise yüzde 35 civarındadır.

Renkli cam renksizleştirilemediğinden flint camı (renksiz cam) üretiminde yalnızca çok düşük seviyelerde renkli hurda cam kullanımı tolere edilebilir. Bu nedenle renk ayrımı yapılan durumlarda geri dönüşüm programları daha etkili olacaktır. Topluluk genelinde bol miktarda yeşil ve kahverengi hurda cam temin edilebilmektedir. Ancak hurda flint camı daha azdır ve bu durum nedeniyle renkli cam eriten fırınlar yüksek hurda cam seviyeleriyle çalışmaktadır. Durum farklı Üye Ülkeler arasında bölgesel farklılıklar nedeniyle önemli değişimler göstermektedir. Örneğin İngiltere'de üretimin büyük kısmı flint camdan kaynaklandığı için bu durum bir sorun olarak görünmektedir. Çünkü dışarıdan ithal edilen şarap şişeleri nedeniyle geri dönüşüm programıyla toplanan hurda camın önemli bir bölümü renkli camdan oluşmaktadır. Dolayısıyla İngiltere'deki fırınlarda hurda cam kullanımı ortalama olarak daha düşük seviyededir.

Fırın işletimi açısından bakıldığında yüksek hurda cam kullanım oranları söz gelimi düşük emisyon oranları gibi başka ek faydaları da beraberinde getirmektedir. Hurda camın ön ısıtma işlemi normal yığına göre daha kolaydır. Bu sayede fırının verimi de önemli ölçüde artırılabilir; ancak yüksek hurda cam oranı seviyeleriyle çalışılırken üreticinin karşılaştığı bir dizi sorun da yok değildir:

- Örneğin şişe kapakları veya şarap şişelerindeki folyolar gibi metal karışımları ateşe dayanım konusunda ciddi hasarlara yol açabilmekte ve fırın ömrünü azaltabilmektedir. Dibe çöken metaller "taban delme" olarak bilinen bir fenomene sebep olmaktadır. Kimyasal tepkime nedeniyle metaller fırın tabanında delikler oluşturmaktadır.
- Çanak çömlek gibi, cam eriyiğinde çözünmeyen seramik ürünleri nihai üründe "taş" gibi görünecek ve ürünün reddedilmesine neden olacaktır.
- Alüminyum kapak ve folyolar üçlü lokal düşürücü maddeler olarak etkiyip cam silisinin silikon metaline düşmesine sebep olurlar. Silikon ise küçük boncuklanmalara neden olarak camın mekanik direncini zayıflatır. Bunun sebebi cam ve silikonun ısıl genleşme katsayıları arasındaki yüksek farklılıktır. Bu farklılıkta ürün içinde gerilmelere neden olur.

Hurda cam kullanımının sağladığı önemli enerji tasarrufuna ek olarak başka çevresel faydaları da vardır. Azalan yakıt kullanımına ve düşük fırın sıcaklıklarına paralel olarak CO₂, SO_x, NO_x ve toz emisyonları da önemli ölçüde azalacaktır. Diğer uçucu madde emisyonları da anı şekilde daha düşük miktarlara çekilebilir. Ancak hurda cam yığınındaki diğer madde katışımları HCl, HF ve metal emisyonu miktarlarını artırabilir. Bu sorun yüksek geri dönüşüm oranlarına sahip olan ve söz konusu katışımların geri dönüştürülen malzemeye yansıtacağı durumlarda özellikle önemli olabilir. Cam yapımında kullanılan pek çok hammadde karbonat ve sülfat içermekte, bunlar da eritildiği zaman CO₂ ve SO_x emisyonlarına sebep olmaktadır. Hurda cam kullanımının artması bu hammaddelerden kaynaklanan emisyonlar yanında el değmemiş hammaddelerin kullanımını da azaltacaktır.

4.8.4 Atık Isı Kazanı

Bu tekniğin temel ilkesi atık gazların buhar üretmek üzere doğrudan doğruya uygun bir kazan borusundan geçirilmesidir. Bu buhar ısıtma amacıyla kullanılabilmesi gibi (mekan ısıtma ve fuel-oil deposu veya boru hattının ısıtılması) uygun bir buhar motoru veya türbini vasıtasıyla hava kompresörleri veya IS makine vantilatör fanları gibi elektrik üretim ekipmanlarının veya tesis bölümlerinin çalıştırılması için de kullanılabilir.

Rejeneratörlerden / reküperatörlerden gelen gazlar genellikle 600°C ile 300°C arasında sıcaklığa sahiptir. Çıkış sıcaklığı kullanılacak geri kazanılabilir ısı miktarını belirler. Bu da kazandaki yoğunlaşma riski dolayısıyla ve doğru baca işletiminin sağlanması amacıyla yaklaşık 200°C ile sınırlıdır. Fırın atık gazlarına maruz kalan kazan boruları zamanla yoğunlaşmış malzeme ile (bileşime bağlı olarak sodyum sülfat gibi) kaplanabilir ve bu nedenle geri kazanım verimliliğini idame ettirmek için periyodik olarak temizlenmelidir (toz giderim cihazlarından sonra çalışan kazanlar için daha az önemli). Yerinde temizlik işlemi buhar tarafından otomatik olarak, mekanik araçlarla veya periyodik bakımla gerçekleştirilebilir.

Tekniğin uygulanabilirliği ve ekonomik fizibilitesi elde edilecek genel verimliliğe bağlıdır (üretilen buharın etkili kullanımı dahil). Uygulamada atık ısı kazanları yalnızca rejeneratör / reküperatör sistemlerinden kaynaklanan işlem sonrası atık ısının geri kazanımı amacıyla düşünülmüş olup en az iki adet oksijen-yakıtlı fırın örneğinin bulunduğu düşünülmektedir. Pek çok durumda, geri kazanılabilir enerji miktarı verimli bir enerji üretimi sağlayamayacak kadar düşüktür ve bu imkan genellikle yalnızca reküperatif fırınlar veya büyük tesisler için mevcuttur veya birkaç fırının atık gazlarının tek merkezde gruplanmasıyla mümkün olabilecektir. Atık ısı kazanları bazı konteyner cam tesislerinde de endüstriyel amaçla kullanılmakla birlikte teknik daha çok yalıtırm cam fırınlarında uygulanmaktadır. Almanya'daki tüm yalıtırm cam fırınlarında atık ısı kazanı bulunmaktadır.

4.8.5 Yığın ve Hurda Cam Ön Isıtması

[tm29 Infomil]

Tekniğin Açıklaması

Yığın ve hurda cam normalde fırına soğuk olarak verilir. Ancak yığın ve hurda camı atık gazlardan kaynaklanan atık ısıyı kullanarak ön ısıtma işleminden geçirerek önemli enerji tasarrufu sağlanabilir. Bu yöntem yalnızca fosil yakıt kullanan cam fırınlarında kullanılmaktadır. Taş yünü endüstrisinde ağırlıklı olarak döküm ocağı fırınları kullanılmaktadır. Bu fırınlar ise esas olarak hammaddeleri ön ısıtma işleminden geçiren bir tasarıma sahiptir.

Yığın / hurda cam ön ısıtıcıları GEA /Interprojekt (doğrudan ön ısıtma), Zippe (dolaylı ön ısıtma) ve Sorg (doğrudan ön ısıtma) tarafından geliştirilmiş ve kurulmaktadır. Son yıllarda Edmeston tarafından da bir kombine hurda cam ön ısıtma ve elektrostatik çöktürücü sistemi geliştirilip uygulamaya konmuştur. Aşağıda mevcut üç sistem tanımlanmaktadır.

Doğrudan Ön Isıtma

Bu tip ön ısıtma baca gazı ile hammaddenin (yığın ve hurda cam) bir çapraz –karşı akımda doğrudan teması sokulmasını gerektirir. Ön ısıtıcının kullanacağı atık gazlar rejeneratörün arkasındaki atık gaz kanalından gelir. Bu gaz ön ısıtıcıdaki kanallardan geçerek hammadde ile doğrudan temas eder. Hurda camın çıkış sıcaklığı kimi durumlarda 400 °C'ye kadar ulaşır. Sistem ön ısıtıcının kullanımı uygun veya değilken fırının normal çalışmasına izin veren bir by-pass mekanizması içerir. Doğrudan ön ısıtıcılar Interprojekt (daha önceden GEA) ve Sorg tarafından geliştirilmiş ve uygulanmaktadır.

Dolaylı Ön Isıtma

Dolaylı ön ısıtma sistemi ilke olarak malzemenin dolaylı olarak ısıtılmasını sağlayan bir çapraz-karşı akım plaka ısı dönüştürücüsüdür. Modüler biçimde tasarlanmış olup birbiri üzerine konumlanmış tekil ısı dönüştürme bloklarından meydana gelmektedir. Bu bloklar daha sonra tekrar yatay atık gaz ve dikey malzeme bacalarına bölünür. Malzeme bacalarında malzeme yerçekimi etkisiyle yukarıdan aşağıya doğru dökülür. Kullanılan hammadde miktarına bağlı olarak, malzeme 1 ila 3 metre / saat hıza ulaşır ve normal olarak oda sıcaklığından yaklaşık olarak 300°C'ye kadar ısıtılır. Baca gazlarının ön ısıtıcının tabanından özel kanallar vasıtasıyla üst kısma doğru yükselmesi sağlanacaktır. Atık gaz akımı tekil modüller arasında yatay olarak hareket eder. Tipik olarak, baca gazları yaklaşık olarak 270°C – 300°C kadar soğutulur. Dolaylı hurda cam ön ısıtıcısı Zippe tarafından geliştirilmektedir.

Edmeston EGB Filtresi

Edmeston Elektrikli Granül Yatak (EGB) filtre sistemi toz giderimi için kullanılan elektrostatik bir çökeltici ile bir doğrudan hurda cam ısıtıcısını içeren hibrid bir sistemdir. Sıcak atık gaz sistemin tepesinden girer ve toz partiküllerine elektrik şarjı uygulayan iyonlaştırma aşamasından geçer. Gaz daha sonra bir granül hurda cam yatağına geçerek yüksek voltaj elektrotla polarize edilir. Elektrik yüklü toz partikülleri biriktirildikleri hurda cama çekilir. Hurda cam bir shaft üzerindedir ve yukarıdan sürekli takviye edilirken aşağıdan da boşalır. Ön ısıtmadan geçirilen hurda cam (yaklaşık 400°C'ye kadar) ve beraberindeki partiküller fırına sokulur.

Çevresel Performans

Bu tekniklerin bir dizi çevresel sonuçları vardır ve bunlar duruma göre değişiklik arz etmektedir. Genel olarak tekniklerin aşağıdaki faydalarından bahsedilebilir.

- Yüzde 10 ila 20 arasında değişen enerji tasarrufu.
- NOx emisyonunda azalma (daha düşük enerji gereksiniminin ve daha düşük fırın sıcaklıklarının bir sonucu olarak)
- Doğrudan ön ısıtma uygulamasında SO₂, HF, ve HCl gibi asidik bileşik emisyonlarında sırasıyla yüzde 60, 50 ve 90 oranlarında azalma (hurda cam yatağı öncesi ve sonrası arasındaki fark)

Mali Konular

Yığın / hurda cam ön ısıtıcılarının ekonomisi büyük ölçüde fırının ve ön ısıtıcının kapasitesine bağlıdır. Maliyetler bağlamında gösterge niteliğinde bir örnek olması bakımından, günlük 370 ton kapasiteli bir fırın için kurulan dolaylı bir ön ısıtıcının toplam sermaye maliyeti (elektrostatik çökeltici dahil) 2,5 milyon Avro'dur. Bu maliyetin 0,8 milyon Avro'luk kısmını ön ısıtıcı oluşturmaktadır. Eğer önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlanabilirse bu yatırım 3 ila 10 yıl içinde geri dönecektir. Eğer elektrikli hızlandırmada önemli bir düşme sağlanabilirse bu süre daha da azalacaktır. Bu metnin yazıldığı tarihte AB'de faaliyet gösteren konteynır cam imalatçıların büyük bölümü hurda cam ısıtıcısını ekonomik olarak cazip bulmuyordu. Ancak bu durum bölgeden bölgeye değişiklik gösterebilmektedir enerji fiyatları ve diğer faktörler (emisyon sınırları) değişikçe yeniden değerlendirme konusu edilmektedir.

Uygulanabilirlik

Hurda cam / yığın ön ısıtma sistemleri teorik olarak yığında %50'den fazla hurda cam bulunan mevcut eritme fırınlarının tümüne uygulanabilir. Yalnızca hurda camın ön ısıtmadan geçirilmesi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır ve etkisi kanıtlanmış bir teknoloji olarak düşünülmemektedir. Doğrudan ön ısıtıcı kullanımı partikül madde emisyonlarında artışa sebep olmakta (up to 2000 mg/Nm³'e kadar) ve ikincil partikül azaltma uygulaması zorunlu hale gelmektedir. Toplanan tozlar normal olarak fırına geri dönüştürülebilmektedir. Taşıma sisteminin ısı kaybını ısı dönüştürücüsünün olabildiğince altında tutabilmek için ön ısıtıcı gözlem noktasının olabildiğince yakınına yerleştirilmelidir. İdeal konum doğrudan yığın doldurucusunun üstü olmalıdır. Sistemin ekonomik olabilmesi için ise kullanılabilecek atık gaz sıcaklığının en az 400 - 450°C olması gerekmektedir. Buna ilaveten, baca gazlarının en az 200 - 250°C kadar soğutulmasına ihtiyaç vardır. Malzeme birikmesinin önüne geçmek için baca gazlarının maksimum giriş sıcaklığı 600°C'den düşük olmalıdır.

İlgili Konular

Teknik fırının kullanım ömründe herhangi bir azalmaya yol açmadan fırın kapasitesini yüzde 10 ila 15 oranında artırmaktadır. Eğer çekiş oranı artmazsa fırın ömrünün bir miktar artması da olasıdır. Teknik fırına daha fazla ısı girmesini sağlayarak elektrik hızlandırma uygulamasına olan ihtiyacı da azaltabilmektedir.

Malzemenin ön ısıtmadan geçirilmesi özellikle elektrostatik çökeltme gerektiren doğrudan ön ısıtma uygulamasında elektrik enerjisi kullanımını artırmaktadır. Böylece enerji tasarrufunun bir kısmı geri alınmakla birlikte bu çok önemli düzeyde değildir.

Doğrudan ön ısıtma işleminin özellikle sıcak uç kaplamadan gelen atık gazlar HCl içeriyorsa dioksin emisyonuna yol açması olasıdır. Ancak bunu destekleyen herhangi bir bulgu yoktur.

Örnek Tesisler

(Tüm Konteynır Camı)

Doğrudan Ön Isıtma

Nienburger Glas, Nienburg, Almanya
Gerresheimer Glas, Dusseldorf, Almanya.
Wiegand Glas, Stein am Wald, Almanya.
Gerresheimer Glas, Budenheim, Almanya.

Dolaylı Ön-ısıtma

PLM Glasindustrie Dongen BV, Dongen, Hollanda
PLM Glass Division, Bad Mündler, Almanya.
Vetropack, St. Prex, İsviçre (artık çalışmıyor⁹)

Edmeston EGB Filtresi

Irish Glass, Dublin, İrlanda
Leone Industries, New Jersey, ABD (oksi yakıtlı fırın).

5. MEİT SONUÇLARI

5.1 Giriş

Bu bölüm ve içeriğini anlamak için, okuyucunun dikkati bu belgenin önsöz kısmına ve özellikle de önsözün beşinci kısmına: “Bu belgenin anlaşılması ve kullanılması” yönlendirilmektedir. Bu belgede verilen teknikler ve bağlantılı emisyonlar ve/veya tüketim düzeyleri veya düzeylerin sıralanması yinelemeli bir süreçle değerlendirilmiştir. Bu süreç aşağıdaki adımları içermektedir:

- sektör için ana çevresel konuların tanımlanması, bu durumda fırından havaya emisyon;
- bu ana konuların üzerinde durmaya yönelik en çok bağlantılı tekniklerin incelenmesi;
- Avrupa Birliği ve dünya genelinde mevcut bilgi temelinde en iyi çevresel performans düzeylerinin tanımlanması;
- harcamalar, ortamlar arası etkileşim ve tekniklerin uygulanmasını kapsayan ana itici güç gibi alanları kapsayan, bu performans düzeylerinin ulaşılması süresince sahip olunan şartların incelenmesi;
- Direktif’deki Madde 2(11) ve Ek IV’ göre genel olarak, mevcut en iyi tekniklerin (MEİT) ve bağlantılı emisyon ve/veya tüketim düzeylerinin seçimi.

Avrupa IPPC Bürosu ve bağlantılı Teknik Çalışma Grubu tarafından yapılan uzman kararları, bilginin bu belgede sunulmasında atılan her adımda kilit rol oynamıştır.

Bu değerlendirmenin, temelinde, teknikler, aynı zamanda MEİT’in kullanılması ile ilişkili olası emisyon ve tüketim düzeyleri bu bölümde sunulmaktadır ve bunlar genel olarak sektöre uygun olduğu ve çoğu durumda sektördeki bazı tesislerin mevcut performansını yansıttığı düşünülmektedir. “Mevcut en iyi tekniklerle bağlantılı” emisyon ve tüketim düzeyleri sunulduğunda, bunun, bu düzeylerin, MEİT tanımında yer alan harcamalar ve avantajların dengesini göz önünde tutarak, bu sektördeki uygulamanın, tanımlanan tekniklerin bir sonucu olarak düşünülebilenecek çevresel performansı temsil ettiğinin bir göstergesi olduğu anlaşılmalıdır. Ancak, bunlar ne emisyon ne de tüketim sınırı değerleridir ve bu şekilde anlaşılmamalıdır. Bazı durumlarda, daha iyi emisyon ve tüketim düzeylerine ulaşmak teknik olarak mümkün olabilir ancak sürecin getirdiği giderler ve ortamlar arası etkileşim düşünceleri dolayısıyla, bunlar bir bütün olarak sektör için MEİT kadar uygun olduğu düşünülmemektedir. Bununla birlikte, böyle düzeyler özel çalıştırma güçlerinin bulunduğu daha özel durumlarda doğru olabileceği düşünülebilir.

MEİT’ in kullanımı ile bağlantılı emisyon ve tüketim düzeyleri, herhangi bir belirtilmiş referans koşulları (örn. dönemlerin ortalanması) ile birlikte görülmesi gerekmektedir.

Yukarıda tanımlanan “MEİT ile bağlantılı düzeyler” kavramı bu belgenin başka bir yerinde kullanılan “ulaşılabilir düzey” terimiyle farklılık göstermektedir.

Bir düzeyin, belli bir teknik veya tekniklerin birleşimi kullanılarak, “ulaşılabilir” olarak tanımlanması durumunda, bunun, düzeyin bu teknikleri kullanarak iyi bir şekilde bakılan ve işletilen tesisler ve süreçler içerisinde geniş bir zaman dahilinde ulaşılmasının beklenebileceği anlamına geldiği anlaşılmalıdır.

Uygun görülen yerde, giderlerle ilgili bilgi, bir önceki bölümde sunulan tekniklerin tanımlanması ile birlikte verilmiştir. Bu durum, dahili giderlerin boyutunun yüzeysel bir göstergesidir. Ancak, bir tekniğin uygulanmasındaki tam gider, ilgili tesislerin, örneğin, vergileri, ücretleri ve teknik özellikleri ile ilgili özel durumlara bağlantılıdır. Bu belgede bu tarz alana özgü faktörlerin tam olarak değerlendirilmesi imkansızdır. Giderlerle ilişkili bilgilerin eksik olması durumunda, tekniklerin ekonomik uygunluğu konusu üzerine sonuçlar, mevcut tesisler üzerinde yapılan gözlemlerden elde edilmektedir.

Bu bölümde yer alan genel MEİT, mevcut bir tesisin o anki performansını ve yeni bir tesis için yapılan bir öneriyi yorumlamaya karşıt bir kaynak nokta oluşturmaya yöneliktir. Bu şekilde, bunlar, tesis için uygun “MEİT’e dayalı” durumların belirlenmesine veya Madde 9(8)’da yer alan genel bağlayıcı kuralların tespit edilmesine yardımcı bulunacaktır. Yeni tesisler iyi hatta bu belgede sunulan genel MEİT düzeylerinden daha iyi bir şekilde işini yerine getirmek için düzenlenebilecekleri öngörülmektedir. Aynı zamanda, mevcut tesislerin genel MEİT düzeylerine ulaşmaya doğru ilerleyebileceği veya her bir durumda tekniklerin teknik ve ekonomik uygulamalara tabi kalarak daha da ileri gidebileceği düşünülmektedir.

BREF yasal olarak bağlayıcı standartlar oluşturmazken, bunlar, belli teknikleri kullanırken ulaşılabilir emisyon ve tüketim düzeyleri konusunda sanayi rehberliği, Üye Devletler ve halk için bilgi vermeye yöneliktir. Belli herhangi bir durum için makul limit değerleri, IPPC Direktifi’nin ve yerel düşüncelerin hedefleri de göz önünde bulundurularak belirlenmesi gerekecektir.

Bu bölüm, MEİT üzerinde, Cam Sanayisi’nin her bir sektör adına ana emisyonlar için Kısım 5.3’den 5.10’a kadar tartışmaktadır. Çoğu sektörde bunlar, Cam Sanayisi için öncelik teşkil ettiğinden havaya emisyonlarla sınırlandırılmaktadır. Bu sektöre özel kısımların her birinde emisyonlar, erime sonrası elde elden her bir madde için ve daha sonra daha genele olarak aşağı akım faaliyetleri için ayrı olarak tartışılmaktadır. Sulu emisyonlar çoğu durumda oldukça düşük ve Cam Sanayisi’ne özel bir durum değildir. Sulu emisyonlar ve diğer atıklar hakkındaki genel düşünceler Kısım 5.11 ve 5.12’de verilmektedir.

5.2 Genel

Cam Sanayisi’ndeki ana tesislerin bir önem arz eden özelliği fırınların periyodik olarak tamir edilmesidir. Kısım 4.1’de tanımlanan normal tamir ve tam tamir olmak üzere iki ana tamir çeşidi vardır. Bölüm 4’te tartışılmış olan birçok teknik için bu, bir tamirin sonlandırılmasına kadar uygulamanın geciktirilmesi için hem teknik olarak yararlı hem de uygun maliyetli olabilir. Bazı teknikler için tamamlanma sadece bir tamir ile (ya normal ya da tam) mümkün olabilmekte, ancak diğer teknikler için böylesi bir gecikme çok az bir fayda sunabilmektedir. Bu konular Kısım 4.1’de ve Bölüm 4’te tanımlanan tekniklerin özel durumları daha ayrıntılı bir şekilde tartışılmaktadır.

Belli bir tesiste neyin uygun olduğuna karar verme konusunda diğer bir önemli etken fırının yaşıdır. 8 ve 12 yıl arası işleyecek olması beklenen bir fırın için uygun faaliyet dönemi, 1 veya 2 yıllık bir süre içinde tamir olması gereken bir fırından daha farklı olabilmektedir. Bu durum özellikle, örneğin, sadece bir tamir ile tamamlanabilecek, büyük oranda teknolojik değişim gerektiren bir teknik (oksi- fuel ateşleme) ile mevcut bir işletmede teknoloji bakımından yenilenmiş olabilecek bir ikincil teknik arasındaki dengeyi etkileyebilmektedir.

Belli parametreler ve özellikle bazı sektörlerdeki NO_x için, ana tekniklerin potansiyeli tam olarak geliştirilmemiştir. Direktif 96/61/EC’ de öncelik kirliliği engellemeye yönelik önlemlere verilmektedir ve bu ana teknikler daha fazla geliştirildiği takdirde, bu teknikler, MEİT’i, bu Bölüm’de üzerinde durulan ikincil tekniklerin bazılarına nazaran daha uygun olarak temsil edebilirler.

Cam Sanayisi’nde gerçekleşen çoğu durumda, bu bölümde üzerinde durulan tüm teknik çeşitlerinin uygulanması çok önemli bir yatırımı temsil etmekte ve bağlantılı giderler, kayda değer bir zaman sürecinde uygulanmaması durumunda, savunulamamaktadır.

Tersi ifade edilmediği takdirde, bu bölümde sunulan rakamlar için tercih edilen durumlar;

- Yanma gazları için: kuru, 0°C (273K)’lık ısı, 101.3 kPa’lık basınç, yoğunluk bakımından % 8’lik oksijen (sürekli eriticiler), yoğunluk bakımından % 13’lük oksijen (sürekli eriticiler)’ dir. Oksi-fuel ateşlemeli sistemler için, % 8’lik oksijene düzeltilen emisyonları ifadesi çok az bir öneme sahiptir ve bu sistemlerden çıkan emisyonlar kütle bazında değerlendirilmektedir.

- Diğer gazlar için (arka gaz yakımı olmadan fırınların iyileştirilmesi ve kurutulması sonrası çıkan emisyonu kapsayan): oksijen veya su buharı konsantrasyonu tahsisi yapılmadan, 0 °C (273K)'lık ısı, 101.3 kPa'lık basınç.

Bu belgede verilen emisyon düzeyi rakamları, daha yüksek olması beklenen maksimum, kısa vadeli zirve değerlerine değil, ortalama rakamlara dayanmaktadır. Verilen emisyon düzeyleri, ne 30 dakikadan az ne de 24 saatten geniş bir tipik ortalama sürece dayanmaktadır.

Dönüşüm faktörleri

MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri hem emisyon konsantrasyonu (mg/m³) hem de kütle emisyon (kg/ton eritilmiş cam) için verilen diziler olarak sunulmaktadır. Bu ikili yaklaşım, fırın teknikleri arasında karşılaştırma yapılma zeminini hazırlamakta ve atmosfere yapılan emisyonların çevrede oluşturabileceği göreceli etkilerin bir göstergesini oluşturmaktadır. Fosil yakıt ateşlemeli fırınlardan çıkan emisyonlar için, emisyon konsantrasyonu ve erimiş camın ton başına salınan kütlesi arasındaki bağlantı büyük oranda eritme için özel enerji tüketimine dayanmaktadır:

Kütle emisyon [kg/ton'luk cam] = dönüşüm faktörü x emisyon konsantrasyonu [mg/Nm³]

yer: dönüşüm faktörü = $(Q/P) \times 10^{-6}$
 ve $Q = \text{Nm}^3/\text{h}$ 'lık atık gaz hacmi
 $P = \text{cam}/\text{h}$ 'lık tonda oranı

Atık gaz hacmi temelde enerji tüketimi, yakıt çeşidi, ve yanıcıya (hava or O_2) dayanmaktadır. Enerji tüketimi, (büyük oranda) fırının türü, cam çeşidi ve cullet yüzdesinin karmaşık bir işlevidir.

Ancak, aşağıdakilerini de içeren bir dizi etken yoğunluk ve özel kütle akımı arasındaki bağlantıyı etkilemektedir:

- fırının türü (hava önceden ısıtmalı ısı, eritme teknikleri)
- üretilen camın türü (erime için enerji ihtiyacı)
- enerji karışımı (fosil yakıt/elektrik takviyesi)
- fosil yakıtın türü (benzin,gaz)
- tutuşturucunun türü (oksijen, hava, oksijen zenginleştirilmiş hava)
- cam kırıntıları yüzdesi
- toplu bileşim
- fırının yaşı
- fırının büyüklüğü

Bu yüzden, tüm dönüşüm öğelerin tanımlarında doğrudan bir yol bulunmamaktadır. Bu nedenle, bu bölümde emisyon konsantrasyonları, (mg/Nm³) MEİT ile bağlantılı emisyon düzeylerinin birincil temeli olarak verilmektedir. Bu emisyon konsantrasyonları ile “genel olarak eşit sayılan” kütle emisyon (kg/ton' luk erimiş cam) için diziler sunabilmek için, bir dizi dönüşüm faktörü yeni ve az enerji harcayan hava-yakıt fırınlarına uyumlu geliştirilmiştir. İyimser enerji tüketimi böylece fikirde oluşturulmuş ve bu yolla enerji tüketimi, Batının düşünceleri dahilinde hesaba katılmıştır. Bu dönüşüm öğeleri aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Çoğu durumda, yüksek enerji tüketimi rakamları gözlenebilir ancak bu durumlarda performans konsantrasyon olarak ifade edilen, MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri ile karşılaştırılmalıdır.

Bazı durumlarda (elektrik fırınları, oksa-fuel ateşleme), performansları sadece özel kütle emisyonlar (kg/ton'luk erimiş cam) açısından değerlendirmek gerekmektedir.

		Eritilmiş camı mg/Nm ³ 'ten kg/ton'a dönüştürmek için gösterici öğeleri
Yassı cam		2.5 x 10 ⁻³
Kap cam	Genel durum	1.5 x 10 ⁻³
	Özel durumlar ⁽²⁾	3.0 x 10 ⁻³
Sürekli fitil cam lifleri		4.5 x 10 ⁻³
Evsel cam	Soda kireç	2.5 x 10 ⁻³
	Özel durumlar ⁽³⁾	Duruma göre çalışma (sık sık 3.0 x 10 ⁻³)
Mineral yün		2 x 10 ⁻³
Taş yün kupolası		2.5 x 10 ⁻³
Özel cam TV Cam-Panel		3 x 10 ⁻³
Özel cam TV Cam-Huni		2.5 x 10 ⁻³
Borosilikat (tüp)		4 x 10 ⁻³
Cam seramikler		6.5 x 10 ⁻³
Su camı		1.5 x 10 ⁻³
Aydınlatma camı (soda-kireç)		2.5 x 10 ⁻³

Tablo 5.1: Mg/m³'ten kg/ton'lık eritilmiş cam için verilen gösterici dönüşüm öğeleri (1)

1. Bu tablo sadece tam hava yakıtla ateşlenmiş fırınlarla bağlantılıdır.
2. Özel durumlar daha az elverişli durumlara (genelde 100 t/gün'den düşük bir tırmanış ve % 30'dan düşük bir cam kırıntılar oranına sahip küçük özel fırınlar) tekabül etmektedir. Bu sınıf sadece kap üretiminin % 1 veya 2'lik kısmını temsil etmektedir.
3. daha az elverişli durumlara ve/veya soda kireçli olmayan camlara tekabül eden özel durumlar: borosilikatlar, cam seramikler, kristal camlar ve nadiren kurşun camlar.

5.2.1 Malzemelerin Depolanması ve Boşaltılması

Malzemelerin depolanması ve boşaltılması hakkında Bölüm 4'te tanımlanan teknikler, bu faaliyetlerden oluşabilecek herhangi bir emisyonun önemsiz olduğundan emin olmak için belli bir tesise uygun bir kombinasyonda kullanılabilir. Belli bir tesiste problemler varsa, bu tekniklerin düzgün bir şekilde uygulanması genel olarak bir çözüm yolu üretebilir.

5.2.2 Partikül Madde

Genel olarak, Cam Sanayisi'nde fırınlardan çıkan tok emisyonlarının kontrolü için MEİT, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemleri ile bağlantılı olarak uygun görüldüğü yerde işleme konulan ya bir elektrostatik çökeltici ya da torba filtre sisteminde yararlı olacağı düşünülmektedir. Bu tekniklerle bağlantılı performans Bölüm 4'te tartışılmaktadır.

Teknik Çalışma Grubu'ndaki Cam Sanayisi temsilcilerinden bazılarının fikrine göre, ikincil tekniklerin çevresel yararları, birincil önlemlerinkiyle karşılaştırıldığında, her durumda soda-kireç cam üretimi için daha yüksek giderlerini uygun görmemektedirler. Bu durum özellikle zaten toz ve metalde oldukça düşük seviyeye ulaşmış olan küçük kapasiteli soda-kireç fırınları için temellendirilmiştir.

Bu, temel önlemlerin uygun maliyetliliğinin (indirgenen tozun kg başına giderleri) ikincil azaltma tekniklerinden daha iyi olma durumu olarak belirtilebilir. Ancak, genelde, "bir bütün olarak çevrenin korunmasında yüksek bir genel seviye ulaşmada en etkili" anlamına gelen, IPPC Direktifi'nde "en iyi" olanın tanımı bakımından dengenin, MEİT olarak ikincil tekniklerin seçimini desteklediği düşünülmektedir. Toz, metaller, ince partikül madde ve gazsal emisyonlar, her türden ve her kapasiteden fırınlarda normal ekonomik şartlar altında bu tekniklerin genel kullanımı bakımından ikincil azaltma teknikleri belirleyici öğelerdir.

Ayrıca, genelde, ölçek ekonomilerinin, IPPC ilkeleri altında kalmış en küçük fırınlar için dahi MEİT'in belirlenmesinde kesin bir rol oynamamakta olduğu düşünülmektedir.

Birincil ve ikincil tekniklerin avantaj ve dezavantaj durumları Kısım 4.4.1.7'de tartışılmaktadır. Ancak, bu bölümde, dengede ikincil toz azaltma teknikleri, çoğu cam fırınları için, eşit emisyonların birincil önlemler ile ulaşamadığı takdirde MEİT'i temsil etmekte olduğu düşünülmektedir.

5.2.3 Sülfür oksitleri

Çoğu cam oluşumlarında yığın olarak sülfat seviyeleri, cam oluşumu ve ürün kalitesi gereksinimleri ile orantılı bir şekilde zaten azaltılmıştır. Çoğu durumda, toz emisyonları için MEİT'in, genelde asit gaz yıkamasını kapsayacak olan bir toz azaltma sisteminin kullanımını içereceği tasavvur edilmektedir. Üretilen sülfatlanmış atık, bir katı atık akıntısının oluşumunu engellemek için fırın ham maddeleri ile geri dönüştürülebilir. Uygun görülen yerde, bu durum, MEİT ile bağlantılı önerilen emisyon seviyelerinde göz önünde bulundurulmaktadır. SOx emisyonlarını etkileyen temel etkenler, bu nedenle, yakıt seçimi, camın türü, ve azaltılmış tozun geri dönüşümü kavramlarıdır. Yıkama sistemi de diğer asit gazlarını azaltma göreviyle faydalı hale getirilebilir ve gelecek kısımlarda üzerinde durulan rakamlar genelde bu tarzda bir sisten kullanımına dayanmaktadır.

Yığın sülfat seviyelerinin çok düşük (veya hatta sıfır) olduğu ve doğal gazın bir yakıt olarak kullanıldığı durumda, bir asit gaz yıkama sistemine gerek olmayabilir. Ancak, bu durumlarda SOx emisyonları, asit gaz yıkama işlemi sonucu oluşan yığınları içeren sülfatlar için verilen rakamlardan genel olarak düşüktür.

Gaz ve yakıt arasında yapılacak seçim, önde gelen ekonomik durumlara dayanmaktadır ve bu durum, bu yakıtların hangisinin MEİT'i temsil ettiğinin belirlemek için bu belgenin kapsamı dışında düşünülmektedir. Doğal gaz miktarının ulaşılabilir olduğu ve ekonomik şartların izin verdiği ölçüde, doğal gaz kullanımı genel olarak daha düşük SOx emisyonları ile sonuçlanacaktır. Fuel-oilin kullanıldığı durumlarda, % 1'lik veya daha az bir sülfür içeriğinin MEİT'i temsil edeceği düşünülmektedir. Ancak, aynı zamanda, daha yüksek bir sülfür içeriği yakıtı, eğer bu, bir eşit emisyon seviyesine ulaşmak için bir yıkama sistemi ile birleştirilirse, ve eğer toplanan maddeler için uygun bir atıklama rotası belirlenirse kabul edilebilir. Bazı Üye Devletler'de, düşük sülfür yağının kullanımını daha zor hale getiren ekonomik durumların mevcudiyeti tanımlanmaktadır.

5.2.4 Diğer Maddeler

Bu belgenin amaçları doğrultusunda, aşağıdaki tablodaki sınıflandırmalar, metaller ve metal bileşenleri üzerinde uygulanmaktadır. Bu gruplandırmalar dışında kalan metaller, daha yüksek toksisiteleri dolayısıyla ya özel olarak belirlenmiş, veya düşük toksisiteleri dolayısıyla sadece toz sınıfı dahiline alınması özel durum düşüncelerini doğrulamamaktadır.

Bu belgede, metallerin emisyon seviyelerinin verildiği durumlarda, bunlar, gaz aşamasında mevcut ve tozla bağlantılı metalleri içermektedir (bkz 4.4.1.7).

Grup 1 metaller ve bileşenleri	Grup 2 metaller ve bileşenleri
Arsenik	Antimoni
Kobalt	Kurşun
Nikel	Kromyum III
Selenyum	Bakır
Kromyum VI	Manganez
	Vanadyum
	Kalay

Tablo 5.2: Metaller ve bileşenlerinin sınıflandırmaları

5.3 Kap Cam

5.3.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, uygun görülen yerde bir kuru veya yarı kuru asit gaz yıkama sistemiyle birlikte bir elektrostatik çöktürücü veya torba filtre işleminin kullanılması olarak düşünülmektedir. Bu teknikler ile bağlantılı MEİT emisyon seviyeleri, genel olarak 0.1 kg/ton'dan daha az eritilmiş cam miktarına eşit olan 5 – 30 mg/Nm³ tür. Verilen dizinin daha düşük bölümündeki değerler genel olarak torba filtre sistemleri için beklenmektedir. Bazı durumlarda, metalleri emisyonları için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon seviyeleri ile sonuçlanabilir.

5.3.2 Azot Oksitleri

Kap Cam Sektörü geniş bir dizi çeşitte ve büyüklükte fırın kullanmaktadır ve iyi düzeyde NOT azaltma etkililiğine ulaşabilen birincil ve ikincil olmak üzere birçok teknik bulunmaktadır. Aynı zamanda, çok düşük NO_x seviyelerine ulaşabilen, ancak sadece belli durumlarda uygulanabilir olan bir çok teknik mevcuttur. Bunlar Bölüm 4'te tartışılmaktadır, örneğin, LoNO_x eriticisi, Flex eriticisi veya elektrik ile eritme. Daha geniş alanda uygulanabilir ancak tüm durumlarının iyi seçeneğini temsil edemeyecek teknikler de bulunmaktadır, örneğin, oksijen yakıt ateşleme ve yığın/cam kırıntıları ön ısıtması.

MEİT'i temsil eden tekniklerin seçimi alana özgü konulara sıkıca bağlıdır. Bu sektörde MEİT'i temsil etmesi muhtemel ana teknikler (veya bunların birleşimleri), birincil önlemler (yanma değişiklikleri), 3R/Tekrar yakma (onaran fırınlar için), oksijen yakıt ateşleme, SNCR veya SCR'dir. Genel olarak MEİT'i oluşturacak tekniklerle ilişkili azot oksitleri için emisyon düzeyleri, 0.5 - 1.1 kg/ton'luk erimiş cam ile eşit görülen 500 - 700 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir. Bu dizideki en düşük rakamlar genelde ikincil azaltma veya oksijen yakıt eritme ile bağlantılıdır. Ancak, diğer tekniklerin de dizi dahilinde teknik ve ekonomik uygunluk gösterdikleri takdirde, MEİT'i temsil edebilirler.

Verilen bir durum için en uygun teknikler bir sonraki tamire kadar (örn. oksijen yakıt veya değişiklik yapılmış fırın geometrisi) bir gecikme gerektirmektedir, bu çeşit düzeyler tamir sonrasında kadar ulaşamayabilir. Sadece birincil önlemlerin kullanılması ile, çoğu hava-yakıt ateşlemeli fırınlar için genel olarak 0.9 - 1.3 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan, 600 - 850 mg/Nm³ emisyon düzeyi beklenebilmektedir.

Yığın nitrat bileşenlerinin önemli ölçüde kullanılmasını gerektiren bu süreçler için, yukarıda tanımlanan emisyon düzeylerine, ikincil azaltma olmadan ulaşmak zorluk teşkil edebilmektedir. Nitratların kullanımının çok sık ve sürekli olduğu durumda, veya çok yüksek emisyonlar oluştuğunda, ikincil tekniklerin kullanımı gerekli olabilir. Bu sektörde sadece mutahassis ürünler (örn. bazı parfüm şişeleri), üretimin % 1'inden daha azını temsil ederek bu sınıf dahiline düşeceklerdir. Çok istisnai durumlar dışında, MEİT ile ilişkili emisyon düzeyleri, genel olarak 3.0 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 1000 mg/Nm³'ten daha az bir miktar olması beklenmektedir. Nitrat kullanımının sık olmadığı durumlarda, ikincil önlemlerin giderleri (aksini gerektirmeyen durumlarda) gerekli görülmeyebilir. Elverişli olduğu her durumda, ilk adımın, ikincil azaltma işlemi üzerinde düşünülmeden önce yığın nitrat kullanımını en aza indirmeye yönelik olması gerekmektedir.

5.3.3 Sülfür Oksitleri

Aşağıda verilen emisyon düzeyleri için, toz için ikincil azaltma işleminin kullanımı, uygun görülen yerde kuru veya yarı kuru asit gaz yıkaması olarak varsayılmaktadır. Bu nedenle,

bu sektör genelinde, (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Doğal gaz ateşlemesi için, genel olarak 0.3 to 0.75 kg/ton'luk erimiş cam ile eşit olan 200 - 500 mg/Nm³
- Petrol ateşlemesi için, genel olarak 0.75 to 1.8 kg/ton'luk erimiş cam ile eşit olan 500 - 1200 mg/Nm³

Bu değerler önceliğin SO_x emisyonlarının azaltılmasına verildiği durumlara uygunluk göstermektedir ve bunlar çoğu durumda tam toz geri dönüşümü için uygun şartlar oluşturmaktadır. Ancak, bir entegre çevresel yaklaşımdan filtre toz ve cam kırıntılarının geri dönüşüm ile oluşturulan atık indirgeme büyük öncelik teşkil etmektedir ve bağlantılı kütle denge değerlendirmesi bakımından bu durum bu değerlerin ulaşılmasını sağlamaktadır, aşağıdaki emisyon düzeyleri, MEİT ile ilişkili düzeyleri temsil edebilir:

- Doğal gaz ateşlemesi için, genel olarak 1.2 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 800 mg/Nm³'e kadar
- Petrol ateşlemesi için, genel olarak 2.25 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 1500 mg/Nm³'e kadar

Bu etkenler 4.4.3.3 ve 5.2.3 kısımlarda ve sülfür dengesi ekinde tartışılmaktadır.

5.3.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Bu sektör genelinde, MEİT, uygun görülen durumlarda asit gaz yıkama işlemi ile birlikte emisyonların en aza indirilmesi için ham madde seçimi olarak düşünülmektedir. Asit gaz yıkama işlemi, gerek azaltma ekipmanlarının korunmasında gerek SO_x için yukarıda verilen rakamlara ulaşmada her zaman gerekli olmayabilir. Bu tarz durumlarla karşılaşıldığında, asit gaz yıkama işlemi, yukarıda tanımlanan düzeylerin birincil önlemler ile ulaşamadığı takdirde, MEİT'i oluşturduğu düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

5.3.5 Aşağı akım İşlemleri

Aşağı akım süreçlerinden oluşan emisyonların ana potansiyel kaynağı sıcak son kaplama tedavisidir. Bölüm 4'te tanımlanan bir dizi teknik emisyonların tedavisinde kullanılabilir ve seçilen teknikler tesise özgü konulara bağlı olacaktır. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Partiküller <20 mg/Nm³
- Kalay <5 mg/Nm³
- Organotin <1 mg/Nm³

Sıcak son işlemi dumanı, genel bir asit gaz/toz azaltma sisteminde fırın atık gazları ile de tedavi edilebilir.

5.4 Yassı Cam

5.4.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemleri ile bağlantılı olarak uygun görüldüğü yerde işleme konulan bir elektrostatik çökeltici veya torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. Bu teknikler ile ilişkili MEİT emisyon düzeyleri, genel olarak 0.1 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 5 - 30 mg/Nm³'tür. Verilen dizilerin daha düşük bölümündeki değerler, torba filtre sistemleri için genel olarak beklenecektir. Bazı durumlarda, metallere çıkan emisyonlar için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon emisyonları ile sonuçlanabilir.

5.4.2 Azot oksitleri

Bu sektör genelinde, azot oksitleri için (NO₂ olarak ifade edilen) MEİT ile ilişkili emisyon düzeyleri, genel olarak 1.25 - 1.75 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 700 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir. Bu durum temel olarak birincil tekniklerin veya birincil teknikler ile birleşerek 3R/Yakma işleminin kullanımına dayanmaktadır. Ancak, uygun görülen yerde diğer teknikler de bu düzeylere ulaşmak için kullanılabilir ve MEİT olarak düşünülebilir. 3R/ Yakma veya SCR'nin kullanıldığı durumlarda, dizinin daha sonuna yönelik emisyon düzeyleri beklenecektir.

Verilen bir durum için en uygun tekniklerin bir sonraki tamire (örn. oksijen-yakıt veya değişiklik yapılmış fırın geometrisi) kadar geciktirme gerektirdiği durumlarda, böyle düzeyler tamir sonrasında kadar ulaşılabilir olmayabilir. Sadece yanma değişikliklerinin kullanımı ile, genel olarak 2.2 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 850 mg/Nm³'ten daha az emisyon düzeyleri, çoğu hava-yakıt ateşlemeli fırınlar için beklenilebilir. 3R tekniği, fırın kampanyası süresince genel olarak uygulanabilir.

Yığın olarak nitrat bileşenlerinin önemli miktarda kullanımını gerektiren bu süreçler için, yukarıda tanımlanan emisyon düzeyleri ikincil azaltma teknikler olmadan ulaşılabilmesi zorluk teşkil etmektedir. Eğer nitrat kullanımı çok sık ise veya çok yüksek emisyonlar oluşuyorsa, ikincil teknikler gerekli olabilir. Böyle uygulamalarda MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri, genel olarak 2.2 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 850 mg/Nm³'ten daha düşük olmaması düşünülmektedir. Nitrat kullanımının sık olmadığı durumlarda, ikincil önlemlerin giderleri (aksini gerektirmeyen durumlarda) gerekli görülmemeyebilir. Elverişli olduğu her durumda, ilk adımın, ikincil azaltma işlemi üzerinde düşünülmeden önce yığın nitrat kullanımını en aza indirmeye yönelik olması gerekmektedir.

5.4.3 Sülfür Oksitleri

Aşağıda verilen emisyon düzeyleri için, toz için ikincil azaltma tekniklerinin kullanımı, uygun görülen yerde kuru veya yarı kuru asit gaz yıkama ile birlikte varsayılmaktadır. Bu nedenle bu sektör genelinde, sülfür oksitleri (SO₂ olarak ifade edilen) için MEİT ile ilişkili emisyon düzeyleri aşağıdaki gibi düşünülmektedir:

- Doğal gaz ateşlemesi için, genel olarak 0.5 den 1.25 kg/ton'luk erimiş cam ile eşit olan 200 - 500 mg/Nm³
- Petrol ateşlemesi için, genel olarak 1.25 - 3 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 1200 mg/Nm³

Bu değerler, önceliğin SO_x emisyonlarını azaltmaya verildiği durumlara uygunluk göstermektedir ve bunlar çoğu durumda tam toz geri dönüşümü işlemi için uygun ortam hazırlamaktadır. Ancak, bütüncül çevresel yaklaşım açısından öncelik SO_x emisyonlarının azaltılmasına verilmekte ise ve

bağımlı kütle denge değerlendirmesi bakımından bu durum bu değerlerin elde edilmesini sağlamadığı durumlarda aşağıdaki emisyon düzeyleri, MEİT ile ilişkili düzeyleri temsil edebilir:

- Doğal gaz ateşlemesi için, genel olarak 2 kg/ton'luk erimiş cam ile eşit olan 800 mg/Nm³'e kadar
- Petrol ateşlemesi için, genel olarak 3.75 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 1500 mg/Nm³'e kadar

Bu etkenler 4.4.3.3 ve 5.2.3 kısımlarda ve sülfür dengesi ekinde tartışılmaktadır.

5.4.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Bu sektör genelinde, MEİT, uygun görülen durumlarda toz azaltma işlemi ile bağımlı olarak asit gaz yıkama işlemi ile birlikte emisyonların en aza indirilmesi için ham madde seçimi olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağımlı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

5.4.5 Aşağı akım İşlemleri

Bölüm 4'te tanımlanan bir dizi teknik emisyonların tedavisinde kullanılabilir ve seçilen teknikler tesise özgü konulara bağlı olacaktır. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağımlı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 mg/Nm³
- Partiküller <20 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

5.5 Sürekli Fıtlı Cam Lifi

5.5.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemleri ile bağımlı olarak uygun görüldüğü yerde işleme konulan bir elektrostatik çöktürücü veya torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. Bu teknikler ile ilişkili MEİT emisyon düzeyleri, genel olarak 0.14 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 5 - 30 mg/Nm³'tür. Verilen dizilerin daha düşük bölümündeki değerler, torba filtre sistemleri için genel olarak beklenmektedir. Bazı durumlarda, metallerden çıkan emisyonlar için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon emisyonları ile sonuçlanabilir.

Bu sektörde tozun doğası; atık gazın soğutulması ve azaltma sistemlerinin konumlanması, azaltma etliliğinin olumlu sonuç vermesi açısından çok öneme sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bazı durumlarda azaltma ekipmanları, genel şekliyle MEİT gereklerini karşılayarak önceden kurulmuş olabilirdi ancak, daha az cezbeden bir hedefe ulaşmak için kurulmuş olabilmekte ve bu nedenle iyi bir şekilde konumlandırılmamaktadır.

Mevcut ekipman, yukarıda ifade edilen 30 mg/Nm³ değil de 50 mg/Nm³ lük bir emisyon düzeyine ulaşabilme özelliğine sahip ise, bir sonraki tamir öncesi yer değişim veya büyük değişikliklerin oluşturduğu giderler elde edilen avantajlar doğrultusunda orantılı olamayabilir.

Belli geliştirilmiş formülasyonlar ikincil azaltma işlemi olmadan, yukarıda verilmiş olan emisyon düzeyleri ile sonuçlanabilir. Böyle durumlarda, MEİT ile ilgili alana özgü değerlendirme yapılması gerekmektedir.

5.5.2 Azot Oksitleri

Yazılma süreci süresince, bu sektör, MEİT ile ilgili kesin sonuçlara ulaşmada zorluk oluşturan, NO_x kontrolünde bir geçiş dönemi geçirmektedir. Emisyon düzeyleri genel olarak 1000 mg/Nm³'ten daha yüksek ve 4.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha büyüktür. Yapılan belli miktardaki çalışmalar yanma değişiklikleri ile gerçekleştirilmiş ve bazı iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, yüksek enerji ihtiyacı gibi belli sektöre özgü konular dolayısıyla, genel olarak 3.6 kg/ton'luk erimiş cam miktarı ile eşit olan 800 mg/Nm³'ten büyük ölçüde daha düşük emisyon düzeylerinin sadece geleneksel yanma değişiklikleri ile yürütülen çoğu süreç için ulaşılabilmesi tasavvur edilmemektedir.

Bu sektörde SNCR veya SCR'nin bilinen hiçbir örneği bulunmamaktadır. Katalizördeki borat yoğunlaşması üzerindeki kaygılar dolayısıyla, SCR'nin yakın gelecekte uygulanabilir olamayacağı düşünülmektedir. Bu sektörde SCNR'nin kullanımında oluşabilecek herhangi bir önemli teknik engel bulunmamaktadır ve kurulduğu takdirde teknik, belli uygulamalara bağlı olarak, % 40 – 70'lik azaltma ile sonuçlanması beklenebilir.

Avrupa'da 6 oksijen-yakıt eritici (26'sı içinde) ve dünyanın diğer bölgelerinde de birkaç örneği bulunmaktadır. Oksijen-yakıt eriticilerin sayısı artmaktadır ve bunların uygulanmasında önemli hiçbir teknik engel bulunmamaktadır. Ancak, hala teknolojinin ekonomik içeriği konusunda belirsizlik ve aynı zamanda ateşe dayanma ömrü konusunda endişeler mevcuttur. Teknik diğer sektörlerde daha geniş olarak kullanılmakta ve giderek daha fazla genel kabul görmektedir. Bu sektörde uygulandığında teknolojinin 0.5 - 1.25 kg/ton'luk erimiş cam miktarına ulaşması beklenebilir.

Bu sektör genelinde, (NO₂ olarak ifade edilen) azot oksitleri için MEİT, oksijen-yakıt eritme işlemi olarak düşünülme eğilimindedir ve MEİT ile ilişkili emisyon düzeyleri 0.5 - 1.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarı olarak düşünülmektedir. Bu ifade kesin bir sonuçlandırma değildir, aslında yazıl süreci boyunca mevcut bilgiye dayalı dengeli bir değerlendirmedir. Teknolojinin hala mali bir risk ögesi taşıdığı kabul edilmektedir, ancak teknik orta vadede MEİT olarak daha geniş olarak kabul görecektir. Çoğu işletmen bu sektördeki tamirler ve çoğu uygulama için teknolojiyi programa koymaktadır ve benzer giderler için aynı emisyon düzeylerini oluşturma özelliğine sahip başka bir teknik şuanda bulunmamaktadır. Diğer tekniklerin uygulanabilir olduğu durumlarda, benzer bir MEİT emisyon düzeyinin 500 - 700 mg/Nm³ olması düşünülmektedir.

5.5.3 Sülfür Oksitleri

Aşağıda verilen emisyon düzeyleri için toz için ikincil azaltma işleminin kullanımı, uygun görülen durumlarda kuru veya yarı kuru asit gaz yıkama işlemi ile birlikte varsayılmaktadır. Bu nedenle, bu sektör genelinde, (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Doğal gaz ateşlemesi için, genel olarak 0.9 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 200 mg/Nm³'ten daha az. Sülfatların arıtma gereci olarak kullanıldığı durumlarda, bu yoğunluk genel olarak 3.6 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 800 mg/Nm³ miktarına kadar ulaşılabilir.

- Petrol ateşlemesi için, genel olarak 2.25 den 4.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 1000 mg/Nm³

Bu dizilerin daha yukarı bölümlerindeki rakamlar toplanan tozun ocağa geri dönüştürüldüğü durumlar ile bağlantılıdır. Toz geri dönüştürülmezse, emisyonlar belirtilmiş maksimum rakamlardan daha az olması beklenecektir.

5.5.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Bu sektör genelinde, MEİT ya birincil önlemler ya da toz azaltma işlemi ile birleştirilen asit gaz yıkama işlemi olarak düşünülmektedir, aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 - 15 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

Bazı düşük floridli ve floridsiz formülasyonlar, ikincil azaltma işlemi olmadan, yukarıda verilenlere ulaşmasına gerek olmamakla birlikte, yaklaşan HF için emisyon düzeyleri ile sonuçlanabilir. Böyle durumlarda, MEİT ile ilgili alan özgü değerlendirme yapılması gerekmektedir.

5.5.5 Aşağı akım İşlemleri

Aşağı akım işlemi ile ilgili emisyonlar çok çeşitli olabilir ve geniş bir birincil ve ikincil teknikler dizisi kullanılabilir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri, partikül maddeler için 5 - 20 mg/Nm³, uçucu organik bileşenler için 5 - 50 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir.

5.6 Evsel Cam

Genel olarak, ekonomik şartların uygunluk gösterdiği durumlarda, özellikle elektrik ile eritme işlemi, kurşun kristal, kristal cam ve opal cam üretimi için bu tekniğin uçucu maddelerin olası salınımını etkili bir şekilde kontrol altına almayı uygunlaştırması dolayısıyla MEİT olarak düşünülmektedir. Kristal camın daha az uçucu formülasyon ile üretildiği durumlarda diğer teknikler belli bir tesis için MEİT belirlemesi yapıldığı zaman düşünülebilir.

5.6.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemleri ile bağlantılı olarak uygun görüldüğü yerde işleme konulan bir elektrostatik çöktürücü veya torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. Bu teknikler ile ilişkili MEİT emisyon düzeyleri, genel olarak 0.1 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 5 - 30 mg/Nm³'tür. Verilen dizilerin daha düşük bölümündeki değerler, torba filtre sistemleri için genel olarak beklenecektir. Bazı durumlarda, metallerden çıkan emisyonlar için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon emisyonları ile sonuçlanabilir.

Soda-kireç formülasyonları için yönlendirme aynı zamanda yukarıda Kısım 5.2.2 ve Kısım 4.4.1.7'e yapılmalıdır. Aşağıda Kısım 5.6.2'te ana hatları verilen, tekniğin özel doğası sebebiyle bu konular özellikle bu sektör ile bağlantılıdır.

5.6.2 Azot Oksitleri

Yazılma süreci süresince, bu sektör, MEİT ile ilgili kesin sonuçlara ulaşmada zorluk oluşturan, bu sektörde NOx azaltma işlemi ile ilgili elde oldukça az bilgi mevcuttur. Hava-yakıt ateşlemeli fırınlar için NOx emisyonları, genel olarak 3.75 - 5 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan ve genelde 1500 - 2000 mg/Nm3 rakamlarını göstermektedir.

Bu sektörün doğası NOx kontrolü için sunulan seçeneklere etki edebilecek birçok konunun ortaya çıkmasına ivme vermektedir. Örneğin, bu sektör Kap Cam Sanayisi ile karşılaştırıldığında, temelde ürün kalite ihtiyaçları ve daha düşük üretim yoğunluklarına dayanan birçok önemli farklılık görülecektir. Fırınlar ortalama olarak önemli ölçüde daha küçüktür (<160 ton/gün), sadece iç cam kırıntıları genellikle kullanılmaktadır, daha fazla oksitleyici şartların oluşumu gerekmektedir (bu nedenle, daha yüksek nitrat düzeyleri kullanılacaktır), fırın genellikle çok az daha sıcak işletmektedir ve kalma süresi % 50 daha yüksek bir zamana kadar olacaktır. Bu etkenlerin tümü daha yüksek belli enerji tüketimine yol açmaktadır ve NOx oluşum potansiyelini artırmaktadır.

Yanma değişiklikleri ile önemli ölçüde çalışma yapılmıştır ve bazı durumlarda önemli miktarda NOx indirgemesi gerçekleştirilmiştir. Ancak, bazı sektörlerde görülen indirgeme ölçüsü Evsel Cam alanında ulaşamamıştır ve daha fazla gelişmenin sağlanabileceği beklenmektedir. Diğer sektörlerdeki tecrübelerle dayanarak, birincil yanma önlemlerinin özenli bir şekilde uygulanması NOx emisyonlarında % 20 – 40'luk, örn. genel olarak 2.5 - 3.75 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 1000 - 1500 mg/Nm3'lük bir alanda indirgeme ile sonuçlanması beklenebilir.

Elektrik ile ısıtılan birçok fırın bu sektörde kullanılmaktadır, ancak ekonomik uygunluk bakımından daha yüksek bir limit bulunmaktadır. Genel olarak elektrik ile eritme (ya % 100 ya da büyük çoğunlukla elektrik ile) ekonomik olarak uygundur, ve özellikle kurşun kristal, kristal cam ve opal cam üretimi için teknik MEİT olarak düşünülmektedir. NOx emisyonları nitrat bozulması ile sınırlıdır ve MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri kullanılan nitrat düzeyine bağlı olarak genelde 0.2 - 1.0 kg/ton'luk erimiş cam miktarı olacaktır. Yukarıda tartışıldığı gibi, daha az uçucu kristal formülasyonlar için diğer teknikler belli bir işletme için MEİT'in belirlenmesinde düşünülebilir.

Bu sektörde SCR, SNCR veya 3R/Yakma için bilinen hiçbir örnek bulunmamaktadır. Evsel Cam fırınlarında oksiyakıt ateşleme işlemi için bazı örnekler vardır ancak bunlar normal bir hava-yakıt ateşlemeli işletmeleri temsil edecek düzeyde örn. 50 - 160 ton/gün değildir. Bu tekniklerin uygulanmasında önemli hiçbir engel bulunmamaktadır ve çoğu zorluğun zaman ve işletimsel tecrübelerle aşılabileceği düşünülmektedir.

Yukarıda belirtildiği gibi, Evsel Cam Sektörü'nde NOx emisyonları için MEİT'i neyin oluşturduğu konusunda kesin sonuçlara varmak zorluk teşkil etmektedir. Elektrik ile eritme işlemi ekonomik olarak uygunluk göstermiyor ise diğer birçok teknik kullanılabilir. Sektör geniş bir fırın türü dizisi kullanmaktadır ve en uygun tekniğin seçimi belli bir tesisin özelliklerine dayanmaktadır. Tekniklerin geliştirilmesi ve tamamlanması için gerekli zaman verildiği takdirde MEİT ile bağlantılı (NO2 olarak ifade edilen) azot oksitlerinin emisyon düzeyleri genel olarak 0.5 - 1.75 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 700 mg/Nm3 olacaktır. Bu sektörde MEİT'i temsil etme olasılığı olan ana teknikler (veya bunların birleşimleri); birincil önlemler (yanma değişiklikleri), 3R/Yakma (yenileyen fırınlar için), oksiyakıt ateşleme, SNCR veya SCR. Az sayıda durumda, 3R/Yakma in kullanımı toplam gidere yük bindirecek olan ateşe dayanıklı madde kullanımının artırılmasını gerektirebilir ve muhtemelen MEİT'in seçimini etkileyebilir. Daha küçük eriticiler için Flex eritici gibi yenileyici tasarımların üzerinde durulmalıdır.

Bu performans düzeylerinin çoğu tesis için mevcut performanslarında önemli bir gelişimi temsil ettiği ve bu nedenle genel olarak orta vadeli önerileri temsil edeceği kabul edilmektedir. Hava-yakıt fırınları için birincil önlemler ile NOx indirgeme potansiyelini belirlemek için çalışmaların gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

Yığın nitrat bileşenlerinin önemli ölçüde kullanılmasını gerektiren bu süreçler için, yukarıda tanımlanan emisyon düzeylerine, ikincil azaltma olmadan ulaşmak zorluk teşkil edebilmektedir. Nitratların kullanımının çok sık ve sürekli olduğu durumlarda veya çok yüksek emisyonlar oluştuğunda, ikincil tekniklerin kullanımı gerekli olabilir. Nitrat kullanımının sık olamadığı veya daha fazla ikincil önlemlerinin alınmasının getirdiği giderin ekonomik olarak uygunluk göstermediği durumlarda, daha yüksek bir emisyon düzeyi MEİT'i temsil edebilir. Uygun bulunan durumlarda nitrat kullanımı olabildiğince azaltılmalıdır. Çok istisnai durumlar dışında, MEİT ile ilişkili emisyon düzeyleri, genel olarak 3 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 1500 mg/Nm³'ten daha az bir miktar olması beklenmektedir.

5.6.3 Sülfür Oksitleri

Aşağıda verilen emisyon düzeyleri için toz için ikincil azaltma işleminin kullanımı, uygun görülen durumlarda kuru veya yarı kuru asit gaz yıkama işlemi ile birlikte varsayılmaktadır. Bu nedenle, bu sektör genelinde, (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Doğal gaz ateşlemesi için, genel olarak 0.5 – 1.25 kg/ton'luk erimiş cam miktarı ile eşit olan 200 - 500 mg/Nm³. Sülfatların düşük düzeylerde kullanıldığı durumlarda, bu yoğunluk genel olarak 0.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 200 mg/Nm³ miktarına ulaşılabilir.
- Petrol ateşlemesi için, genel olarak 1.25 – 3.25 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 1300 mg/Nm³

Bu dizilerin daha yukarı bölümlerindeki rakamlar toplanan tozun fırına geri dönüştürüldüğü durumlar ile bağlantılıdır. Toz geri dönüştürülmezse, emisyonlar belirtilmiş maksimum rakamlardan daha az olması beklenmektedir.

5.6.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Bu sektör genelinde, MEİT ya birincil önlemler ya da toz azaltma işlemi ile birleştirilen asit gaz yıkama işlemi olarak düşünülmektedir. Asit gaz yıkama işlemi ne azaltma ekipmanlarının korunmasında ne de SO_x için yukarıda verilen rakamlara ulaşmak için gerekli olmayabilir. Bu tarz durumlarda, birincil önlemler ile aşağıda tanımlanan rakamlara ulaşamadığı takdirde asit gaz yıkama işleminin MEİT'i oluşturduğu düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

Kurşun kristal ve kristal cam üretimi için, metaller için <5 mg/Nm³ ve <1 mg/Nm³ rakamları genellikle torba filtrelerin veya yüksek etkililik EP'nin kullanıldığı anlamına gelmektedir.

5.6.5 Aşağı akım İşlemleri

Aşağı akım işleminden çıkacak olası emisyonlar temel olarak kurşun kristal ve kristal cam üretimi dolayısıyla oluşacak toz ve asit gaz dumanlarını içermektedir. Olası toz faaliyetleri için, kuru kesim veya bileme işlemleri bir torba filtre sistemine çıkartma ile gerçekleştirilecek ise uygun olan durumlarda sıvı altında kesim MEİT olarak düşünülmektedir.

Asit gazlarının veya dumanlarının oluştuğu durumlarda MEİT ıslak yıkama olarak düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 mg/Nm³
- Partiküller <10 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³

Bu sektörde suya gerçekleşen muhtemel önem taşıyan emisyonlar mevcuttur, bunlar Bölüm 3 ve 4' te tartışılmaktadır ve bu faaliyetler için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri Kısım 5. 11'de verilmektedir.

5.7 Özel Cam

Bu sektör için, 1.5 x 10⁻³ (su cam)'ten 6.5 x 10⁻³ (cam seramik)'e kadar değişen dönüşüm faktörleri Tablo 5.1'de verilmektedir. Bu kısımda altı ayrı dönüşüm faktörünün ögesinin her biri için verilen yoğunluk emisyonları ile genel olarak eşit olan kütle emisyonlarının verilmesi karmaşıklık yaratabilir. Bu nedenle, emisyon düzeyleri sadece yoğunluk olarak sunulmaktadır ve her bir ürün türü için uyuşan kütle emisyonunun belirlenmesi için atıf Tablo 5.1'e yapılmalıdır.

5.7.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemleri ile bağlantılı olarak uygun görüldüğü yerde işleme konulan bir elektrostatik çöktürücü veya torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. Bu teknikler ile ilişkili MEİT emisyon düzeyleri, genel olarak 0.1 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 5 - 30 mg/Nm³'tür. Verilen dizilerin daha düşük bölümündeki değerler, torba filtre sistemleri için genel olarak beklenecektir. Bazı durumlarda, metallerden çıkan emisyonlar için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon emisyonları ile sonuçlanabilir.

5.7.2 Azot oksitleri

Bu sektör genelinde, (NO' olarak ifade edilen) azot oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri 500 - 700 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir. Bu rakam büyük ölçüde oksijen-yakıt eritme ve SCNR veya SCR'nin kullanımına dayanmaktadır. Özel Cam Sektörü geniş bir dizi çeşitte ve büyüklükte olan fırın kullanmaktadır. NO_x emisyonlarını karşılaştırılabilir düzeylerde azaltmak için kullanılacak diğer teknikler mevcuttur ve en uygun teknik alana özgü konulara ile sıkıca bağlıdır. Verilen rakamlardan daha düşük düzeylere ulaşabilecek çok sayıda teknik vardır ancak bu teknikler tesislerin tümü için uygulanabilir olmayabilir. Yüksek düzeyde nitratin kullanıldığı durumlarda yönelim aynı zamanda süreç ve ürün gereksinimlerinin getirdiği kısıtlamalar çerçevesinde nitrat kullanımını mümkün olduğunca en aza indirmeye doğru olmalıdır.

Su cam üretimi için genelde, (NO' olarak ifade edilen) azot oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri 500 - 700 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir. Bu rakam birincil veya ikincil tekniklere dayanmaktadır. Verilen bir durum için en uygun teknikler bir sonraki tamire kadar (örn. oksijen yakıt veya değişiklik yapılmış fırın geometrisi) bir gecikme gerektirdiği durumlarda, bu çeşit düzeyler tamir sonrasına kadar ulaşamayabilir. Sadece birincil önlemlerin kullanılması ile, çoğu hava-yakıt ateşlemeli fırınlar için genel olarak 600 - 850 mg/Nm³'lük emisyon düzeyi beklenebilir.

5.7.3 Sülfür oksitleri

Aşağıda verilen emisyon düzeyleri için toz için ikincil azaltma işleminin kullanımı, uygun görülen durumlarda kuru veya yarı kuru asit gaz yıkama işlemi ile birlikte var sayılmaktadır. Bu nedenle, bu sektör genelinde, (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Doğal gaz ateşlemesi için 200 - 500 mg/Nm³'tür, sülfatların düşük düzeylerde kullanıldığı durumlarda, bu yoğunluk 200 mg/Nm³ miktarına ulaşılabilir.
- Petrol ateşlemesi için 500 - 1200 mg/Nm³'tür.

Bu dizilerin daha yukarı bölümlerindeki rakamlar toplanan tozun fırına geri dönüştürüldüğü durumlar ile bağlantılıdır. Toz geri dönüştürülmezse, emisyonlar belirtilmiş maksimum rakamlardan daha az olması beklenecektir.

5.7.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Bu sektör genelinde, MEİT asit gaz yıkama işlemi ile birlikte emisyonların azaltılması için ham madde seçimi olarak düşünülmektedir. Asit gaz yıkama işlemi ne azaltma ekipmanının korunmasında ne de SO_x için yukarıda verilen rakamlara ulaşmak için gerekli olmayabilir. Bu tarz durumlarda, birincil önlemler ile aşağıda tanımlanan rakamlara ulaşılmadığı takdirde asit gaz yıkama işleminin MEİT'i oluşturduğu düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- | | |
|---------------------------------------|------------------------|
| • Kloridler (HCl olarak ifade edilen) | <30 mg/Nm ³ |
| • Floridler (HF olarak ifade edilen) | <5 mg/Nm ³ |
| • Metaller (Grup 1 + 2) | <5 mg/Nm ³ |
| • Metaller (Grup 1) | <1 mg/Nm ³ |

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

5.7.5 Aşağı akım İşlemleri

Aşağı akım işlemi ile bağlantılı emisyonlar çok çeşitli olabilir ve geniş bir dizi birincil ve ikincil teknikler kullanılabilir. Olası toz ile ilgili faaliyetler için MEİT sıvı altında kesim, bileme veya parlatma işlemleri ile toz azatımı veya kuru işlemlerin yapılacağı durumlarda bir torba filtre sistemine çıkartma olarak düşünülmektedir. Asit gazlarının veya dumanlarının oluştuğu durumlarda MEİT ıslak yıkama işlemi olarak düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- | | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| • Floridler (HF olarak ifade edilen) | <5 mg/Nm ³ |
| • Partiküller | <5 mg/Nm ³ |
| • Metaller (Grup 1 + 2) | <5 mg/Nm ³ |
| • Metaller (Grup 1) | <1 mg/Nm ³ |

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

Bu sektörde suya gerçekleşen muhtemel önem taşıyan emisyonlar mevcuttur, bunlar Bölüm 3 ve 4' te tartışılmaktadır ve bu faaliyetler için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri Kısım 5. 11'de verilmektedir.

5.8 Mineral Yün

5.8.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, bir elektrostatik çöktirici veya torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. Cam yünü üretiminde, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemlerinin kullanımı ekipmanın korunmasında genellikle gerekli görülmemektedir, çünkü neredeyse tüm fırınlar gaz ateşlemeli veya elektrik ile ısıtılan fırınlardır. Bu teknikler ile ilişkili MEİT emisyon düzeyleri, genel olarak 0.1 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 5 - 30 mg/Nm³'tür. Verilen dizilerin daha düşük bölümündeki değerler, torba filtre sistemleri için genel olarak beklenenecektir. Bazı durumlarda, metallere çıkan emisyonlar için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon düzeyleri ile sonuçlanabilir. Sıcak eritme döküm fırınları genellikle, patlama riski nedeniyle elektrostatik çöktiriciden ziyade torba filtre ile uyum gösterecektir.

Cam yünü üretiminde tozun doğası; atık gazın soğutulması ve azaltma sistemlerinin konumlanması, azaltma etkinliğinin olumlu sonuç vermesi açısından çok öneme sahip olduğu anlamına gelmektedir. Bazı durumlarda azaltma ekipmanları, genel şekliyle MEİT gereklerini karşılayarak önceden kurulmuş olabilir ancak, daha az cazip bir hedefe ulaşmak için kurulmuş olabilmekte ve bu nedenle iyi bir şekilde konumlandırılmamaktadır. Mevcut ekipman, yukarıda ifade edilen 30 mg/Nm³ değil de 50mg/Nm³ lük bir emisyon düzeyine ulaşabilme özelliğine sahip ise, bir sonraki tamir öncesi yer değişim veya büyük değişikliklerin oluşturduğu giderler elde edilen avantajlar doğrultusunda orantılı olamayabilir.

5.8.2 Azot Oksitleri

Cam yün üretiminde genel olarak, (NO₂ olarak ifade edilen) azot oksitleri için MEİT oksit-yakıt ateşleme veya çoğunlukla elektrik ile eritme işleminin kullanılması olarak düşünülmektedir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri genel olarak 0.5 - 1.4 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 700 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir. Çoğu uygulamada oksit-yakıt ateşleme veya çoğunlukla elektrik ile eritme işlemi 1kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha düşük emisyonlara ulaşması beklenebilir. Ancak, geleneksel hava-gaz sistemleri birincil veya ikincil önlemler ile gösterilen emisyonlara ulaşabilir. Böyle durumlarda bu tarz sistemlere de MEİT'i temsil etme yetisi verilebilir.

Yığın olarak nitrat bileşenlerinin önemli miktarda kullanımını gerektiren durumlarda (örn. yüksek organik bileşen içeren maddelerin geri dönüşümü için), yukarıda tanımlanan emisyon düzeyleri ikincil azaltma teknikler olmadan ulaşılabilmesi zorluk teşkil etmektedir. Eğer nitrat kullanımı çok sık ise veya çok yüksek emisyonlar oluşuyorsa, böyle tekniklerin MEİT'i oluşturması muhtemeldir ve genel olarak 1.4 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 700 mg/Nm³'ten daha düşük bir miktara ulaşması beklenenecektir.

Taş yün kupaları genellikle önemli miktarlarda NO_x emisyonlarına artış kazandırmamaktadır ve 0.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha az emisyonlar özel kontroller olmadan ulaşılabilir. Tank fırınlarının kullanıldığı durumlarda MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri cam yünü üretimi ile eşit varsayılmaktadır.

5.8.3 Sülfür Oksitleri

Cam yünü üretimi için genelde, (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitlerinin emisyonları çok düşük olma eğilimindedir. Neredeyse tüm fırınlar gaz ateşlemeli veya elektrik ile ısıtılan fırınlardır ve çok düşük miktarda sülfat kullanılmaktadır. Bu durumlarda SO_x emisyonları herhangi bir özel azaltma önlemleri olmadan genel olarak 0.1 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 50 mg/Nm³'ten düşük olması beklenenecektir. Fırınların petrol ateşlemeli olduğu düşünülürse, asit gaz yıkama işlemi toz azaltma ekipmanını korumak için genellikle gerekli görülecektir ve bu durumda MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri genel olarak 0.6 - 2.0 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 300 - 1000 mg/Nm³ olarak düşünülecektir.

Taş yün üretimi için, (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyi genel olarak 1.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 600 mg/Nm³'ten daha düşük olması düşünülmektedir. Bu değerler süreç sonucu ortaya çıkan atıkların geri dönüşümüne ve atık bertaraf için daha fazla katı atık akıntısını önlemeye öncelik verilen durumlar ile uyusmaktadır. Ancak, bütüncül çevresel yaklaşım açısından öncelik SO_x emisyonlarının azaltılmasına verilmekte ise ve bağlantılı kütle denge değerlendirmesi bakımından bu durum bu değerlerin elde edilmesini sağlamıyor ise asit gaz yıkama işleminin kullanımı MEİT'i temsil edebilir. Bu sistemler büyük oranda gider oluşumuna neden olmaktadır ve genelde toplanan maddeler atık bertaraf için bir katı atık akıntısının oluşumunu neden olarak etkili bir şekilde geri dönüştürülemeyebilir. Asit gaz yıkama işleminin MEİT'i temsil ettiği durumlarda, kuru yıkamanın en uygun maliyetli teknik olduğu olasıdır. Bu tarz durumlarda (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri genel olarak 0.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 200 mg/Nm³'ten daha düşük olacağı düşünülmektedir.

Yukarıda verilen düzeyler temelde taş yükleyiciler ile eritmeyle bağlantılıdır, ancak yükün çimento bazlı briketler içerdiği durumlarda çimento bağlayıcısına sülfür katkısı bulunmaktadır. SO₂ emisyonlarına etki edecek etkenler briket olarak geri dönüştürülen malzemenin miktarına açıkça bağlıdır. Örneğin, taş için % 45'lik briket yer değiştirmesi durumunda MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri genel olarak 2.7 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 1100 mg/Nm³'ten daha düşük olacaktır. SO₂ azaltımına öncelik verilen durumlarda asit gaz yıkama işlemi genellikle MEİT'i temsil etmektedir ve bağlantılı emisyon düzeyleri genel olarak 0.8 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azı ile eşit olan 350 mg/Nm³'ten daha düşük olacaktır. % 45'ten daha büyük bir yer değiştirme çok nadir bir durumdur ve her bir tesis için sülfür dengesi MEİT ile orantılı uygun emisyon düzeylerinin belirlenmesi için oluşturulmalıdır.

Briketler de azaltma ekipmanlarından toplanan geri dönüştürülmüş toz içerirse, bu durum daha fazla sülfür katkısı yapılmasını gerektirmektedir. Toplanan tozdaki sülfür hacmi tesisten tesise farklılık gösterecektir, gelen olarak % 0.05 - 0.28'dir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri aşağıda verilmiştir. Yukarıda tartışıldığı gibi her bir tesis için bir sülfür dengesi MEİT ile orantılı uygun emisyon düzeylerinin belirlenmesi adına oluşturulmalıdır.

- Atık azaltımına öncelik verilen durumlarda, genel olarak 3.4 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 1400 mg/Nm³
- SO₂ azaltımına öncelik verilen durumlarda, genel olarak 1.0 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 400 mg/Nm³

Yüksek fırın cürufklarının kullanılmasının genellikle MEİT'in bir bölümünü oluşturduğu düşünülmektedir, bunun kullanılmasının ürün ve süreç sebepleri için gerekli olduğu durumlarda MEİT'in kuru yıkama işlemini kapsamı düşünülmektedir.

5.8.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Halojenürlerin ve metallerin emisyonları bu süreçlerden düşük olma eğilimindedir ve aşağıda gösterilen emisyon düzeyleri ham madde seçimi ile genellikle ulaşılabilir. Taş yün kupolaları hidrojen sülfid ve karbon monoksitin yüksek düzeyde emisyonuna neden olabilir. Hidrojen sülfid emisyonları için MEİT, ham madde seçimi ve termal oksitleme işlemleri olarak düşünülmektedir. Karbon monoksit için MEİT, termal oksitleme işlemi olarak düşünülmektedir. Bu sektör genelinde, Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <30 mg/Nm³
- Floridler (HF olarak ifade edilen) <5 mg/Nm³
- Hidrojen Sülfür (H₂S) <5 mg/Nm³
- Karbon Monoksit (CO) <200 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Grup 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2’de verilmektedir.

5.8.5 Aşağı akım işlemleri

Alan oluşturma ve emisyonların kombine oluşumu ve ıslah edilmesi

Birincil tekniklerin iyi bir şekilde uygulanmasını takiben MEİT ya bir ıslak elektrostatik çöktürücü, bir dolu yatak yıkayıcısı ya da bir taş yün filtresinin (genellikle sadece taş yün süreçleri) kullanımı olarak düşünülmektedir. Bu farklı tekniklerin performansları değişiklik göstermektedir. Islak elektrostatik çöktürücü ve taş yün filtresi katı parçacık ve damlacıkların yok edilmesinde daha etkili olmaktadır ve dolu yatak yıkayıcısı ise gaz halindeki maddelerin yok edilmesinde daha etkilidir. Bu konular ve her bir tekniğin bağlantılı performansları Bölüm 4’te tanımlanmaktadır. Aşağıda belirtilen kirlenmeler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Toplam partikül madde 20 - 50 mg/Nm³
- Fenol 5 - 15 mg/Nm³
- Formaldehit 5 - 10 mg/Nm³
- Amonyak 30 - 65 mg/Nm³
- Amininler <5 mg/Nm³
- Toplam uçucu organik bileşenler 10 - 50 mg/Nm³

Genellikle, tüm dizilerin daha yüksek sonlarındaki emisyonlar beklenmeyecektir. Bir ıslak elektrostatik çöktürücü veya bir taş yün filtresi kullanıldığında dizinin tabanına doğru toplam partikül madde emisyonları beklenecektir; ve bir dolu yatak yıkayıcısı kullanıldığında dizinin tabanına doğru gaz halindeki emisyonlar beklenecektir.

Fırın emisyonlarının ıslahı

Cam yün üretiminde, MEİT ve bağlantılı emisyon düzeyleri ilgili emisyon düzeyi 5 - 10 mg/Nm³ olan fenol emisyonları dışında genel olarak yukarıda verildiği gibi düşünülmektedir.

Genelde, taş yün süreçleri için MEİT termal yakma ünitesi olarak düşünülmektedir, aşağıda belirtilen kirlenmeler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Toplam partikül madde 5 - 30 mg/Nm³
- Fenol <5 mg/Nm³
- Formaldehit <5 mg/Nm³
- Amonyak <20 - 65 mg/Nm³ veya < 0.4 kg/ton’luk bitmiş ürün (en fazla 100 mg/Nm³e kadar).
- Amininler <5 mg/Nm³
- Uçucu organik bileşenler <10 mg/Nm³

Alan oluşturma ve fırın emisyonlarının tedavisi için yukarıda verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri bütün şartlar altında bu teknikler ile ulaşılamayabilir. Yüksek yoğunluktaki ürünler veya yüksek bağlayıcı içerikli ürünler üretilirse sektör için genellikle MEİT olarak düşünülen teknikler ile ulaşılmış düzeyler büyük oranda daha yüksek olabilir. Bu tür ürünler mevcut bir tesisten gelen ürünlerin büyük bir bölümünü oluşturuyorsa, diğer teknikler üzerinde durulması gerekmektedir.

Hem alan oluşturmak hem de fırın emisyonlarının tedavisi için amininler için verilen rakam (<5 mg/m³) amininsin bağlayıcılar ve aminin olmayan katalize edilmiş reçinelerin kullanımına dayanmaktadır.

Ürün soğutmasından kaynaklı emisyonlar ayrı ayrı veya emisyon oluşturma veya tedavi etme işlemleri ile birleştirilerek tedavi edilebilir. Ayrı ayrı tedavi edildikleri durumlarda MEİT ile bağlantılı emisyon düzeylerinin alan oluşturma ile aynı veya daha düşük olacağı düşünülmektedir. Makineleme ve paketleme gibi diğer aşağı akım faaliyetlerinden kaynaklı partikül maddeler için MEİT, torba filtre sistemin kullanımı olarak düşünülmektedir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyinin 5 mg/Nm³'ten daha az olması beklenmektedir.

5.9 Seramik Elyaf

5.9.1 Eritme

Bu sektördeki eritme için MEİT, torba filtre sistemi ile birlikte elektrikle eritme işlemi olarak düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- | | |
|---|-----------------------------|
| • Partikül madde | <10 mg/Nm ³ . |
| • Azot oksitleri (NO ₂ olarak) | <0.1 - 0.5 kg/ton eritilmiş |
| • Sülfür oksitleri (SO ₂ olarak) | <0.1 - 0.5kg/ton eritilmiş |
| • Kloridler (HCl olarak ifade edilen) | <10 mg/Nm ³ |
| • Floridler (HF olarak ifade edilen) | <5 mg/Nm ³ |
| • Metaller (Grup 1 + 2) | <5 mg/Nm ³ |
| • Metaller (Grup 1) | <1 mg/Nm ³ |

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

5.9.2 Aşağı akım İşlemleri

Bu sektörde tozun çoğalabileceği bütün alanlar için MEİT, toplama ve bir torba filtre sistemine çıkarma olarak düşünülmektedir. Aşağıda belirtilen kirleticiler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| • Partikül madde | 5 mg/Nm ³ . |
| • Seramik Elyaf (Not 1) | 1 mg/Nm ³ . |
| • Uçucu organik bileşenler | 10 - 20 mg/Nm ³ . |

Not 1

Bu bağlamda bir elyaf, 5 µm'den daha uzun, 3 µm'den daha az genişlikte ve uzunluk/genişlik oranı 3:1'den daha büyük olan bir nesne olarak tanımlanmaktadır.

5.10 Cam Hamuru

5.10.1 Toz

Bu sektör genelinde, toz için MEİT, kuru veya yarı kuru asit gazı yıkama sistemleri ile bağlantılı olarak uygun görüldüğü yerde işleme konulan bir elektrostatik çöktürücü veya torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. Bu teknikler ile ilişkili MEİT emisyon düzeyleri, genel olarak 0.1 kg/ton'luk erimiş cam miktarından daha azına eşit olan 5 - 30 mg/Nm³'tür. Verilen dizilerin daha düşük bölümündeki değerler, torba filtre sistemleri için genel olarak beklenecektir. Bazı durumlarda, metallere çıkan emisyonlar için MEİT uygulaması, toz için daha düşük emisyon emisyonları ile sonuçlanabilir.

Bu performans düzeylerinin çoğu tesis için mevcut performanslarında önemli bir gelişimi temsil ettiği ve bu nedenle genel olarak orta vadeli önerileri temsil edeceği kabul edilmektedir. 30 mg/Nm³ emisyon düzeyinin ulaşılmasında önemli bir teknik engel bulunmamaktadır ve uygun tekniklerin geliştirilmesi ve tamamlanması için gerekli zaman verildiğinde bu rakamlara ulaşılmalıdır.

5.10.2 Azot Oksitleri

Bu sektör genelinde, (NO₂ olarak ifade edilen) azot oksitleri için MEİT oksijen-yakıt ateşleme veya çoğunlukla elektrik ile eritme işleminin kullanılması olarak düşünülmektedir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri, geleneksel hava-gaz sistemlerinin birincil ve ikincil önlemler ile bu düzeye ulaşabildiği takdirde, genel olarak 0.5 - 1.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarına eşit olan 500 - 700 mg/Nm³ olarak düşünülmektedir.

Bu performans düzeylerinin çoğu tesis için mevcut performanslarında önemli bir gelişimi temsil ettiği ve bu nedenle genel olarak orta vadeli önerileri temsil edeceği kabul edilmektedir. Yukarıda belirtilen emisyon düzeylerinin ulaşılmasında önemli bir teknik engel bulunmamaktadır ve uygun tekniklerin geliştirilmesi ve tamamlanması için gerekli zaman verildiğinde bu rakamlara ulaşılmalıdır.

5.10.3 Sülfür Oksitleri

Genellikle cam hamuru üretimi için (SO₂ olarak ifade edilen) sülfür oksitleri için MEİT, (uygulanabilir olduğu durumlarda) yakıt seçimi ve yığın bileşimlerinin kontrolü olarak düşünülmektedir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyi genel olarak 200 mg/Nm³'ten daha az bir miktara eşit olan 0.1 - 0.5 kg/ton'luk erimiş cam miktarı olarak beklenmektedir. Petrol ile ateşleme kullanıldığında veya yığının önemli miktarlarda sülfat içerdiği durumlarda MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyi 500 - 1000 mg/Nm³'tür.

5.10.4 Erime Sonucu Oluşan Diğer Emisyonlar

Bu sektör genelinde, aşağıda belirtilen kirlenmeler için verilen MEİT ile bağlantılı emisyon düzeyleri şu şekilde düşünülmektedir:

- Kloridler (HCl olarak ifade edilen) <10 mg/Nm³.
- Floridler (HF olarak ifade edilen)(Not1) <5 mg/Nm³.
- Metaller (Sınıf 1 + 2) <5 mg/Nm³
- Metaller (Sınıf 1) <1 mg/Nm³

Metaller ve bileşenleri için sınıflandırmalar Tablo 5.2'de verilmektedir.

Note1

Yığın maddelerinin önemli miktarlarda florid düzeyi içerdiği durumlarda, bu düzeyler asit gaz yıkama sistemlerinin kullanımına dayanmaktadır.

5.10.5 Aşağı akım İşlemleri.

Bu faaliyetlerden çıkacak olası tek emisyon tozdur ve MEİT, bir torba filtre sisteminin kullanımı olarak düşünülmektedir. MEİT ile bağlantılı emisyon düzeylerinin partiküller için 5 - 10 mg/Nm³, metaller için (Sınıf 1 + 2) <5 mg/Nm³ olması beklenmektedir.

5.11 Suya Yapılan Emisyonlar

Cam sanayisindeki faaliyetlerden oluşan su ile ilgili emisyonlar genellikle düşüktür ve bu, sanayiye özel bir durum değildir. Ancak, çok sayıda faaliyet daha büyük miktarlarda su ile ilgili emisyonların atmasına neden olabilir. Aşağıda verilen emisyon düzeyleri genellikle su ortamının korumaya uygun olarak düşünülmektedir ve genel olarak MEİT'i temsil ettiği düşünülen bu teknikler ile ulaşılan emisyon düzeylerinin bir göstergesidir. Bunlar sanayide ulaşılan düzeyleri temsil etmemektedir ancak TWG'nin uzman değerlendirmesine dayanmaktadır.

• Askıdaki katılar	<30 mg/l
• Kimyasal oksijen talebi (Not 1)	100 - 130 mg/l
• Amonyak (Kjeldahl)	<10 mg/l
• Sülfat	<1000 mg/l
• Florid	15 - 25 mg/l
• Arsenik	<0.3 mg/l
• Antimoni	<0.3 mg/l
• Baryum	<3.0 mg/l
• Kadmiyum	<0.05 mg/l
• Kromyum (Toplam)	<0.5 mg/l
• Bakır	<0.5 mg/l
• Kurşun (Not 2)	<0.5 mg/l
• Nikel	<0.5 mg/l
• Kalay (Not 3)	<0.5 mg/l
• Çinko	<0.5 mg/l
• Fenol	<1.0 mg/l
• Borik asit	2 - 4 mg/l
• pH	6.5 - 9
• Mineral petrol	<20 mg/l

(Not 1) – Sürekli fitil cam elyaf sektörü için bu rakamlar 200 mg/l olarak düşünülmektedir. Genellikle, kimyasal oksijen talebi oldukça düşüktür ve MEİT ile bağlantılı asıl düzey suya erişime dayanmaktadır. Erişilen suyun özellikle aşağıdaki hassas düzeyleri gösterdiği takdirde bu rakamlara gerek duyulabilir.

(Not 2) – kurşun bileşenlerinin önemli miktarlarda kullanıldığı evsel cam tesisleri için 1.0 mg/l miktarı halen daha uygun olarak düşünülmektedir. 0.5 mg/l'e ulaşmak için önemli hiçbir teknik engel bulunmamaktadır, ve uygun tekniklerin geliştirilmesi ve tamamlanması için gerekli zaman verildiğinde bu rakamlar ulaşılabilir olabilir.

(Not 3) – Aşağı akım emisyonlarının tedavisi için sulu yıkayıcılar kullanıldığı kap cam süreçleri için <3 mg/l'lik bir emisyon düzeyi daha uygundur.

Bir lağım tedavi çalışmalarına veya diğer alan dışı tedaviye boşaltma işlemi de MEİT'i oluşturabilir. Bu yaklaşımın önerildiği durumlarda erişilen olanakların uygunluğuna önem verilmelidir.

5.12 Diğer Atıklar

Birincil yollarla atığın elverişli görüldüğünde önlenmesi, veya elverişli olmadığı durumlarda azaltılması MEİT'i oluşturması düşünülmektedir.

Elverişli durumlarda cam kırıntılarının geri dönüşümü veya süreç öncesi diğer işlem atığı, MEİT olarak düşünülmektedir. Bir sıcak üfürme kupolasına geri dönüştürülecek ince malzeme genellikle briketleme gibi tedavi gerektirmektedir. Sürekli Fitol Cam Lifi Sektörü'nde işlem atıklarının geri dönüşümünün zorluk teşkil ettiği kanıtlanmıştır ve daha fazla geliştirme çalışmaları önerilmektedir.

Uygulanabilir durumlarda atık gaz akıntılarında işleme alınan toplanmış partikül maddenin geri dönüşümünü MEİT'i temsil ettiği düşünülmektedir (bu durum yeniden üretken atığı kapsamamaktadır). Çoğu eritme işleminde toplanan malzemenin kuru toplama işleminin kullanıldığı durumlarda bu, toplanan malzemenin bileşimine izin vermek için yığın formülasyonların basit ayarlamasını içerecektir. Kuru yıkama sistemlerinden toplanan malzemenin geri dönüşümü ile bağlantılı zorluklar Bölüm 4'te tartışılmaktadır. Bazı durumlarda havaya yapılan emisyonlar için üzerinde durulan düzeylere ulaşmak ile katı atık akıntısının oluşumunu en aza indirmek arasında bir uzlaşma yapılması gerekebilir. Bu tarz durumlar oluştuğunda, tesise has temelde ve bir bütün olarak çevre kirliliğinin azaltılması için görece öncelikte düşünülmelidir.

Şartların elverdiği durumlarda, culetin ve geri dönüştürülmüş atığın (hem iç hem dış) artırılmış kullanımı MEİT'in tamamlayıcısı olarak düşünülmektedir, bu aşağıdaki etkenlere dayanmaktadır:

- İndirgenmiş atık (sadece alanda).
- Genel olarak geliştirilmiş enerji etkililiği.
- Belli diğer emisyonların azaltılmasına katkı.
- Doğal kaynakların indirgenmiş katkısı.

6 YENİ TEKNİKLER

Cam Sanayi, özellikle sanayinin düşük hacimli, yüksek değerli alanlarında ürün ve uygulamalar açısından oldukça yenilikçi olabilir. Eritme işlemlerindeki yenilikler, genellikle daha kademeli ve artan bir biçimde olma eğilimi göstermektedir ve bazen de var olan kavramların adaptasyonu temeline dayanmaktadır. Cam fırınlarına yapılan yatırımlar çok büyük çaplıdır ve bir sonraki yeniden inşa işleminden önce modifikasyon yapılması zordur. Eğer, kampanya kaybı üretim zamanında sorunlar meydana gelirse ve özellikle de fırının soğumaya bırakılması gerekiyorsa, onarımların maliyeti oldukça yüksek olabilir. Bu nedenle, büyük modifikasyonlar yapılması ciddi bir risk taşımaktadır ve şirketlerin yeni tasarım ve teknolojileri uygulamadan önce performanstan tamamen emin olmaları gerekmektedir. Nitekim yeni teknolojinin etkileri, tüm bir kampanya dönemi üzerinden değerlendirilebilir.

Çevresel performansın artırılması yönündeki artan baskının, özellikle potansiyel olarak pahalı geleneksel ikincil zayıf ekipmana alternatifler geliştirilmesinde yenilik için güçlü bir teşvik olduğunu kanıtlamıştır. Örneğin:

- 3R işlemi, geleneksel olarak büyük yakma tesislerinde kullanılan yakıt prensibinden kimyasal azaltma yöntemi ile geliştirilmiştir. Her ne kadar, var olan bir prensibin adaptasyonu temeline dayansa da, bu prensibin cam fırınına başarıyla uygulanması için ciddi bir gelişim ve yenilik gerekmiştir.
- FENIX sistemi, yakıcı modifikasyonları ve NOx oluşumunu etkileyen ve bunların fırın ortamında birbirleri ile nasıl etkileşim içinde olduklarına dair detaylı bilgiye dayalı olarak fırın içinde yanma koşullarının optimizasyonudur.
- Temelde diğer uygulamalar için geliştirilen düşük NOx yakıcı sistemleri cam fırınları için özellikle modifiye edilmiştir.
- Sorg LoNOx eritici, NOx oluşumunu en aza indirmek ve ısı geri kazanımını en üst düzeye çıkarmak amacıyla konvansiyonel bir cam fırınının yenilikçi bir şekilde yeniden tasarlanmasıdır.

Bu teknolojiye orta vadede beklenen ciddi bir ilerleme söz konusu değildir; ancak uzun vadede bunları sanayi için daha cazip hale getirebilecek şekilde faydalarını optimize etmeye yönelik sürekli gelişimi süren teknikler mevcuttur. Ayrıca şu anda geliştirilmekte olan tamamen yeni kavramlar da mevcuttur, fakat bunların yakın gelecekte sanayi içinde uygulanma şansı bulması beklentiler dâhilinde değildir.

Bu bölümde kısaca şu anda mevcut olan ve yeni olarak kabul edilmeyen ancak geliştirilme olasılığı bulunan teknikler (Bölüm 6.1 – Bölüm 6.6) ve aynı zamanda da henüz pilot aşamasında olan, uzun vadeli, yenilikçi teknikler anlatılmaktadır.

6.1 Düşük NOx Yakıcı Sistemleri

Yeni yakıcı sistemleri hala gelişim aşamasındadır ve sağlanacak ilerlemelerde artış beklenmektedir. Egzoz gazı analitik yöntemleri kullanılarak ileri yakma kontrol yöntemleri ile bir arada bu yakıcıların uygulanması, NOx oluşumunun daha da azaltılacağına dair bir potansiyel göstermektedir. Ayrıca, fırınlar, geometrinin yeni yakma sistemlerine optimize edilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Ne var ki, gelişmeler devam ettikçe, göz önünde bulundurulması gereken bazı teknolojik hususlar söz konusudur; örneğin:

- Yanma odacığı refraktörlerine dokunan alev parçalarının azaltılması ile refraktör hasarı oluşması yönünde potansiyel bir risk söz konusudur;
- Eritme veya yığın örtü üzerindeki koşulların azaltılması cam kalitesini etkileyebilir ve erken zamanda sülfat dekompozisyonuna neden olur ki bu da SO_x emisyonlarında artışa neden olabilecek komple arıtmayı sağlamak üzere ekstra sülfat eklenmesini gerektirebilir.

6.2 Oksi-yakıt eritme

Bu, yeni bir teknik olarak kabul edilemez ve 4. Bölüm’de daha detaylı olarak anlatılmaktadır. Ancak, iyi yapılandırılmış sektörlerde bile gelişimi devam etmektedir. İlk büyük ölçekli fırınların büyük bir kısmı henüz 10 yaşın altındadır, ancak son dönemde yapılan fırınlarda bugüne kadar edinilen deneyimlere dayanılarak modifikasyonlar da işe dâhil edilmiştir. Ayrıca, düşük NO_x yakıcıların faydalarını uygulayacak şekilde yakıcı sistemlerinde de gelişmeler kaydedilmiştir.

Mevcut kurulumlar, hala konvansiyonel reküperatif türden çapraz ateşlemeli fırın temeline dayanmaktadır. Matematiksel model oluşturma teknikleri uygulandığından ve bu konudaki deneyimler arttığından, bu teknikte özellikle fırın geometrisi açısından gelişmeler olması muhtemeldir. Ayrıca yine zaman içinde bu tekniğin en çok hangi uygulamalara uygun olduğu ve hangi uygulamalarda çok az fayda sağladığı veya hiç fayda sağlamadığı daha net hale gelecektir. 4. Bölümde de anlatıldığı gibi, potansiyel olarak gelişme göstermesi beklenen bir alanda oksi-yakıt eritmeli ısı geri kazanım sistemlerinin kullanılmasıdır.

6.3 Hurda Cam ve Yığınlar Ön Isıtma Yapılması

Bu tekniklere temel örnekler 4. Bölümde anlatılmaktadır ve yine bunlar da yeni teknikler olarak kabul edilmezler, fakat bunlar da ciddi gelişme göstermektedir. İşletimle ilgili sorunlar çözülüp, bu alandaki deneyimler arttıkça bu tekniklerin daha yaygın kullanılacağı tahmin edilmektedir. Birçok sektör, tüketici sonrası ve ikincil işleyici atıkların kullanımının artırılması yönündeki girişimler üzerinde çalışmaktadır. Bu gelişmeler, beklenildiği şekilde devam ederse, bu tekniklerin kullanılabilirliği de o ölçüde artar.

6.4 Yığın Oluşumları

Yığın oluşumuna ilişkin olarak halen göze çarpan ilginç bazı gelişmeler mevcuttur ve bunlar aşağıda özetlenmektedir.

Bölüm 4.4.1.1’de de anlatıldığı gibi, Cam Sanayinin kalsiyum oksitli cam sektörlerinde diğer tekniklerle birlikte toz emisyonunu azaltan cam oluşumları geliştirilmektedir. Birçok uygulamada 70 ila 100 mg/m³ aralığında emisyon seviyesinin oluşabileceği belirtilmektedir.

Almanya ve Hollanda’da uçuculuğu daha az olan ve dekolorize verimliliği artırılmış yeni selenyum ham maddelerinin geliştirilmesi yönünde projeler başlatılmıştır. Bu yeni selenyum ham maddelerinin uygulanması gelecekte sofraya eşyaları ve kristal yapımında selenyum emisyonlarını sınırlandırabilir. Şu anda elimizde daha fazla bilgi bulunmamaktadır.

Bir üretici tarafından kesintisiz kesiksiz cam elyaf için yeni bir cam kompozisyonu geliştirilmiştir. E-cam eritme olayına özgü iki temel hava emisyonu bileşenine yani parçacık ve flüorüre işaret etmektedir. Her ne kadar, flüorür emisyonunun azalması cam oluşumunda ekstra flüorür olmasa da, flüorür emisyonu ham madde içindeki hurda flüorür ile sınırlıdır ve bu da flüorür emisyonlarının 50 mg/m³’ün altında olması ile sonuçlanır. Standart E-cam oluşumlarında parçacık oluşturma materyallerinde borat türlerinin uçuculuğu belirleyicidir. Fırından emilen parçacık maddelerinin % 85’inden daha fazlası bor ile alakalıdır ve bor türlerinin camdan ayrıştırılması parçacık oluşumunu genel olarak 50 mg/m³’ün altında olacak şekilde ciddi biçimde azaltır.

Borun ve ekstra flüorürün ortadan kaldırılması, camın daha zor erimesine (daha yüksek erime sıcaklığı) ve elyaflaşmasına neden olur ve enerji gereksinimlerinde artışa yol açabilir. Fırın refraktörlerinin uzun vadeli direncinin belirlenmesi için daha fazla tecrübe edinilmesi gerekmektedir. Bu cam oluşumunun uygulanması ayrıca farklı ürün tür ve modifikasyonlarının eritme ve oluşum işlemlerine uygunluğunu gerektirmektedir. Yine de temel yollarla emisyonlarda ciddi bir azalma sağlanması için gelecek vadeden bir yol olarak kabul edilmektedir. Bu teknik, bir şirket tarafından geliştirilmiş ve patenti alınmıştır, bu nedenle de sektör için genel kullanımı mümkün değildir.

6.5 Frit İşlemlerinin Entegrasyonu

İspanya’da bir teknik patent altına alınmıştır; bu teknik benzer türden işlemlerin bir araya getirilmesi amacıyla çok fırınlı frit kurulumlarının modüler bazda tasarımı içerir. Bu yaklaşım, yanma havasının ön ısıtmasının yapılması için reküperatörlerin kullanılmasına olanak verir ve tozun azaltılmasını ve dönüştürülmesini daha ekonomik hale getirebilir.

6.6 Baca Gazı Çevrimi

Oksijen içeriğini dolayısıyla da sıcaklığı ve NO_x oluşum verimliliğini azaltmak amacıyla fırından çıkan atık gaz prensipte yeniden ateş içine enjekte edilebilir. Bu işlem türü, son dönemde metalürji sanayi de dâhil olmak üzere yakma teknolojilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Cm Sanayi için bu teknik, alev stabilitesi, yanma verimliliği ve aynı zamanda da CO, yanmamış hidrokarbon ve katı emisyonları açısından potansiyel zorlukları artırıyor gibi görünmektedir. Rejeneratif fırınlarda uygulama ile ilgili olarak denetleyicilerin refraktörlerinin stabilitesi de bir sorun kaynağı olabilir. Laboratuvar uygulamalarından ve pilot bir fırın üzerindeki uygulamadan umut verici sonuçlar elde edilmiştir, ancak bu teknik sanayide uygulanırken çeşitli zorluklarla karşılaşmıştır ve bu teknolojinin potansiyelinin tam olarak değerlendirilebilmesi için daha fazla araştırma yapılması gerekiyor gibi görülmektedir.

Baca gazının çevrimi ve oksijen ateşlemesinin kullanımının bir araya gelmesine dayalı olan ve son dönemde ortaya çıkan “sentetik hava” kavramı da potansiyel olarak değer taşıyan yeni ortaya çıkmış bir tekniktir. Bu yazı kaleme alındığında, bu işlem ile ilgili uygulamaya dayalı bir tecrübe bulunmamaktaydı.

6.7 Glasulin Araştırma Programı

Bu, 17 cam şirketi ve 4 araştırma enstitüsü arasındaki ortak bir projedir ve projenin amacı, yığın içindeki sülfat seviyelerinin azaltılması için yeni yöntemlerin geliştirilmesidir. Bu çalışma, sülfür sensörlerinin kullanılması, sülfat arıtma işleminin daha iyi anlaşılması ve redoks durumunun kontrol edilmesi (daha az sülfat eklenmesine ve gerekli arıtma verimliliğinin devamına olanak verir) işlemlerini gerektirmektedir. Sülfat ekleme işleminin ve redoks durumunun kontrolü ile sağlanabilecek olan SO₂ emisyonlarının azaltılması çoğu durumda hurda cam kalitesi, hurda cam/yığın oranı, gerekli cam kalitesi ve kullanılan yakıt türüne bağlıdır. Bazı durumlarda, SO₂ emisyonları % 30–40 oranında azaltılabilir.

Arıtma etmenleri olarak antimon oksit veya arsenik oksidin kullanıldığı cam eritme işlemlerine genellikle nitrat eklenir. Hurda veya organik bileşenler açısından zengin diğer dönüştürülmüş maddeler içeren yığınlara da nitrat (oksidan olarak) da eklenir. Nitratlar, 500 ila 900 °C arasındaki yığın örtüsündeki organik bileşenleri okside etmektedir. Çok fazla nitrat kullanmadan yığınların redoks durumunu optimize etmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Bazı şirketler, cam eritme fırını içine iç hurdaların (atık yün veya elyaf) geri dönüştürülmesinden önce organik bileşenlerin yakılması ve böylece de gerekli nitrat miktarının sınırlandırılması için yakma kazanları veya proliz teknikleri geliştirmişlerdir.

6.8 Yeni Eritici Tasarımları

6.8.1 Parçalı Eritici

Parçalı eritme kavramı, konteynır cam imalatı, yığın ve hurda camda kullanılan iki ana ham maddenin farklı eritme gereksinimleri üzerine sermaye aktarmaya çalışmaktadır. Saf yığın, 24 saatlik kapalı kalma zamanında yaklaşık 1400 °C’de eritilirken, cam hurdanın eritilmesi için gerekli sıcaklık 1100 °C’dir ve yalnızca 1–2 saat sürer.

Yığın, ham maddenin % 75’ini cama çevirme kapasitesine sahip elektrikli bir ön ısıtma fırınına boşaltılır. Önceden eritilmiş yığın, daha sonra bir boğaz vasıtasıyla hurda camın eklendiği (hurda cam, en az % 60 ham madde içerir) genişletilmiş bir köpek kulübesine boşaltılır. Yığın/hurda karışımı daha sonra ikinci eritme odacığına girer. Bu gaz veya benzin ateşlidir; oksi-yakıt yakıcılar kullanır ve ön ısıtma bölümününkinden daha az cam derinliğine sahiptir.

Sistem potansiyel olarak bir dizi avantaj sunmaktadır:

- Tüm elektrikli ön eritme aşaması esnasında ortaya çıkan emisyonlar ortadan kalkar;
- Hurda cam, yığından daha düşük bir sıcaklıkta eridiğinden ikinci eritme odacığındaki yakıt tüketimi daha azdır;
- Oksi-yakıt yakıcıların kullanılması, ikinci eritme odacığından kaynaklanan NOx emisyonlarını en aza indirir;
- Gerekli kapalı kalma zamanı daha az olduğundan ikinci erime odacığı daha küçük olabilir.

Parçalı bir eriticiye çevrilen günlük 230 ton kapasiteli bir fırın için termal verimlilik, konvansiyonel eritme ile sağlanandan % 25 daha fazladır. Ne var ki, bakım gereksinimleri daha fazla olabilir. Her ne kadar komple bir kampanya 15 yıl olarak tahmin edilse de, Parçalı Eriticinin elektrikli eritme bölümünün yaklaşık her üç yılda bir onarım gerektirmesi ve yakıt ateşli bölümün de daha az yüklerle devam etmesi beklenmektedir. [Tm5 EEO].

6.8.2 İleri Cam Eritici

Şu an geliştirilmekte olan İleri Cam Eritici (AGM), yığınların ön ısıtmasının yapılması ve eritme için tamamen farklı bir konsept uygular. Yığın materyalleri, doğal gaz ateşli bir yakıcı içinde alevin tepki bölgesi içine enjekte edilir. Materyaller askıda iken hızlı ısıtma meydana gelir ve daha sonra hem yanma ürünleri hem de ısıtılan yığın materyalleri yüksek hızlı bir enjektör ile eritme odacığına ve “merkezi bir gövde” üzerine boşaltılır; eriyen cam bu gövde içinden rezervuar içine akar. Ateş içinde yığının varlığı ile ateş sıcaklığı bastırıldığından, bu sistemin en büyük avantajlarından biri, düşük NOx emisyonu potansiyelidir.

6.8.3 Plazma Eritici

İngiliz Cam Araştırma Grubu şu anda hızlı bir eritme işlemi geliştirmektedir; bu işlem erimiş camın elektrik iletkenliğini kullanmaktadır. Bu sistem, hepsi birbirine 120 °C’de konumlandırılmış üç elektrikli ark torçundan oluşmaktadır. Bunlar, iyonize edilmiş ve torç enjektörlerinden düşük enerjili plazma ateşi şeklinde çıkan saflığı yüksek argon gazı ile beslenmektedir. Torçların altına erimiş cam içeren izole edici pota yerleştirilir. Erimiş cam tabandan sürekli olarak akarken, yığın veya hurda cam yukarıdan bu eritme kuvveti içine beslenir.

Sistem, bir ön ısıtıcı olarak veya bir son ısıtıcı olarak çalışabilir. Torçlar birbirine yaklaştırıldığında iletken olmayan hurda cam ve yığının ön ısıtması başarılmış olur. Erimiş bir cam havuzu oluşturmak amacıyla akım bir torçtan diğerine iyonize plazma jet arasından genişleyen gazdan iletken ısı ve plazmadan ışıyım ısısından aktarılır. Son eritme modunda, torçlar, plazma akımı bir torçtan diğerine erimiş cam aracılığıyla geçecek şekilde yeniden yerleştirilir. Bu yüksek sıcaklıklarda, bu işlem modunu mümkün kılmak amacıyla camın direnci yeterince düşüktür.

Sistem, bir dizi potansiyel fayda sunmaktadır:

- Kısmen rafine cam üretmek amacıyla yığın ve hurda birkaç dakika içinde eritilir;
- Fırın isteğe göre açılıp kapatılabilir;
- Camın bileşimi ve rengi hızla değiştirilebilir;
- İşlem temelde kirliliğe neden olmaz. SO_x, NO_x ve toz emisyonları göz ardı edilebilecek düzeydedir.

Bu eritme türü, önümüzdeki birkaç yıl içinde çok küçük hacimdeki eritme işlemleri için kullanılabilecektir. Öngörülebilir bir gelecekte günde 20 tonun eritilmesi için kullanılabilecek bir teknik olması beklenmemektedir.

7 SON NOTLAR

Bu bölümde Cam Sanayideki mevcut en iyi teknikler hakkındaki bilgi değişiminin sonuçları ve bu konudaki tavsiyeleri özetlemektedir. Bu bölüm, 5. Bölümde verilen mevcut en iyi tekniklere ilişkin sonuçları kapsamaz.

7.1 Bilgi Değişimi

Bu belge ile ilgili çalışma Ocak 1998’de çalışma ve kilit hususların kapsamı için önerilerin ortaya koyulduğu hazırlanması ile başlamıştır. Teknik Çalışma Grubunun ilk toplantısı (“başlangıç toplantısı”) 29–30 Ocak 1998 tarihlerinde düzenlenmiştir. Bu toplantı esnasında belgenin yapısı, çalışmanın kapsamı ve bilgi değişiminin temel metodolojisi üzerinde mutabakata varılmıştır. Kilit çevresel hususlar ve çalışmalar için öncelikler belirlenmiş ve Üye Devletler ve Sanayi tarafından çeşitli sunumlarda bulunulmuştur.

Ocak 1998 ile Ekim 1998 arasında 1 ile 4. bölümler için bilgi toplanmış ve 1 ile 3. bölümlerin taslağı oluşturulmuştur. Bilgi değişiminin bu aşamadaki ana hatları, saha ziyaretleri ve Teknik Çalışma Grubu (TÇG) alt gruplarının toplantıları idi. Kasım 1998’de müzakere edilmek üzere 1 ile 3. bölümleri kapsayan taslak bir belge çıkarılmıştır. Kasım 1998 ile Şubat 1999 arasını kapsayan dönem zarfında daha fazla bilgi toplandı ve 1 ile 3. bölümler ile ilgili yorumlar da birleştirilerek belgenin bütününe bir taslağı oluşturuldu. Mart ve Nisan aylarında bu taslak metin üzerinde istişareler devam etti. İstışarede ortaya çıkan sonuçlar EIPPCB tarafından değerlendirildi ve ikinci TÇG toplantısı öncesinde değerlendirilmek üzere Eylül 1999’da ikinci tam taslak çıkarıldı.

Çoğu sanayi sektörü ve başta Hollanda, Fransa, Almanya, İtalya ve Avusturya olmak üzere Üye Devletler tarafından çok bilgi sağlandı. Frit ve seramik elyaf hakkında ancak proje aşamasında bilgi edinilebildi ve bu hususlar genel olarak daha az detaylı kaldı. Fritler hakkındaki bilgilerin büyük bir kısmı, İspanya sanayi tarafından sağlandı.

Edinilen bilgiler, saha ziyaretleri ile TÇG üyelerine de danışılarak ve EIPPCB’nin de detaylı incelemeleri ile doğrulandı. Elde edilen bilgiler genellikle çok kaliteli idi ve bilgi değişimi devam ettiği sürece de rafine edildi. Ne var ki, bilgilerde bir takım boşluklar ve daha fazla detayın faydalı olacağı alanlar bulunmaktadır. Bu hususlar, aşağıda Bölüm 7.3’de anlatılmaktadır.

İkinci TÇG toplantısı 17–19 Kasım 1999 tarihleri arasında gerçekleştirildi. Bazı hususlar, özellikle de 5. Bölüm ile ilgili konular ayrıntılı olarak görüşüldü ve büyük ölçüde fikir birliğine varıldı. TÇG tarafından kendilerine 5. Bölümde geriye kalan hususlar üzerinde mutabakata varma görevi verilen bir dizi çalışma grubunda bazı önemli hususlar daha görüşüldü. Bu çalışma gruplarının elde ettiği sonuçlar, revize edilen belgeye dâhil edilmiştir ve TÇG’nin üzerinde mutabakata varamadığı önemli bir konu bulunmamaktadır.

7.2 Genel Sonuçlar

Cam Sanayideki mevcut en iyi teknikler hakkındaki bilgi değişimi genellikle çok başarılı olmuştur ve ikinci TÇG toplantısı ardından büyük ölçüde fikir birliği sağlanmıştır. Sanayinin birçok sektörü ve çoğu Üye Devlet tarafından önemli ölçüde bilgi sağlanmıştır. TÇG, mevcut uzmanların bilgi ve görüş alışverişinde bulunmaları ve konuları tarafsız bir ortamda tartışmaları için bir forum oluşturmuştur.

Direktifin 1. Ekinin 3.3 ve 3.4'üncü Bölümlerinde de belirtildiği üzere bu çalışmanın ta en başından beri Cam Sanayinin hem ölçeği hem de kullanılan teknolojiler açısından çok çeşitlilik gösterdiği açıkça görülmekteydi. Varılan en önemli sonuçlardan biri, bu çeşitliliğe rağmen tüm işlemler ve sektörler içinde uygulanacak belli teknikleri Mevcut En İyi Teknikler olarak tanımlamak genellikle uygun değildir. Bu belgede benimsenen genel yaklaşım, Mevcut En İyi Tekniklerin kullanımının göstergesi olan performans seviyelerini belirlemek ve ardından da belli bir sektör için uygun olması en muhtemel teknikleri belirlemektir. 5. Bölümde bu performans seviyelerini elde etmenin en iyi yolunun işlemler arasında farklılık gösterebileceği olarak kabul edilmektedir.

Son yıllarda sanayinin çevresel performansını geliştirmek yönünde ciddi başarılar sağlanmıştır. Bu eğilim devam etmektedir ve daha fazla ilerleme beklenmektedir. 6. Bölümde de açıklandığı gibi, tamamen yeni tekniklerden ziyade temel tekniklerin ve konvansiyonel ikincil tekniklerin daha da geliştirilmesi ile performansın daha da artacağı tahmin edilmektedir.

Çevresel performansa ilişkin beklenti ve gereksinimler arttıkça sanayi, yüksek uyum maliyetleri ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu da sanayiye bu performans seviyelerinin başarılması için daha uygun maliyetli yöntemler geliştirmeye teşvik etmektedir ve Cam Sanayi, bu zorlukla başa çıkmak konusunda oldukça başarılı olmuştur. En uygun maliyetli teknikler genellikle salınan maddelerin işlenmesi yerine kirleticilerin salınmasına engel olan birincil tekniklerdir. Çevre üzerindeki genel etki düşünüldüğünde, eşit emisyon seviyelerinin başarılabileceği yerlerde birincil teknikler genel olarak tercih edilmektedir. NO_x emisyonlarının kontrol altına alınması için oksijen yakıt ateşleme de dâhil birincil tekniklerin kullanımında özellikle başarı sağlanmıştır. Ancak, parçacık emisyonları için ikincil tekniklerle karşılaştırıldığında, birincil teknikler genellikle aynı emisyon seviyelerini elde edememektedir.

7.3 Gelecekte Yapılacak Çalışmalar için Tavsiyeler

Yukarıda da anlatıldığı gibi, sağlanan bilgilerin kalitesi genellikle oldukça yüksekti, ancak yine Mevcut En İyi Tekniklerin belirlenmesinde daha fazla bilginin faydalı olacağı bazı alanlar belirlendi. Bu projenin amacı, mevcut en iyi teknikler hakkındaki bilgi değişiminin koordinasyonu ve raporlandırılması idi. Bu bilgi boşluklarını doldurmak için yeni bir araştırma yapmak bu çalışmanın kapsamında yer almamaktaydı. Yine de, EIPPCB'nin veya TÇG üyelerinin yeni bilgiler topladığı veya yeni bilgilerle ilişkilendirdiği örnekler mevcuttur. Gelecekte yapılacak çalışmalara yönelik alanlar ve bu belge revize edildiğinde gözden geçirilmesi gereken alanlar için tavsiyeler aşağıda anlatılmaktadır.

Ortamlar arası etkileşim konularının daha derin anlaşılabilmesi için daha fazla çalışma yapılması faydalı olacaktır. Özellikle de farklı ortamlara alınan emisyonların tamamı düşünüldüğünde çevre üzerindeki görece etkilerin değerlendirilmesi için bir metodoloji geliştirilmesi yararlı olacaktır. Örneğin, bazı kurulumlar için önemli bir husus, kuru veya yarı kuru temizlemenin yapılabileceği yerlerde atıkların en aza indirilmesi ve havaya SO₂ emisyonlarının azaltılması için potansiyel bir öncelikler çatışmasıdır, toplanan materyalin içeride geri dönüşümü için sınırlı bir potansiyel mevcuttur.

Yine eşit ölçüde önemli bir husus da aynı ortama farklı maddelerden kaynaklanan emisyonların görece etkilerinin değerlendirilmesi için bir metodolojidir. Örneğin, yağ ateşlemesinden gaz ateşlemesine dönüştürme SO₂ emisyonlarını azaltacaktır ancak bazı durumlarda NO_x emisyonlarında ve yakıt kullanımında az bir artışa neden olabilir. Ayrıca, aşırı oksijen seviyelerinin NO_x oluşumunu azaltmak için düşürülmesi durumunda da camın redoks durumunun değişmesi ve bunun sonucunda da daha fazla SO₂ emisyonu meydana gelmesi potansiyeli mevcuttur.

Mevcut en iyi tekniklerin belirlenmesinde diğer bir komplikasyon da tesis dışı faaliyetlerin çevresel etkisinin değerlendirilmesidir. Örneğin, elektrikli eritme fırından kaynaklanan emisyonları büyük ölçüde azaltacaktır. Ne var ki, bir bütün olarak düşünüldüğünde çevre için en iyi korumayı sağlayacak seçeneğin belirlenmesinde azaltılan emisyonlara görece olarak elektrik oluşumu ve dağılımının çevresel etkisinin değerlendirilmesi faydalı olacaktır.

Bu belge revize edilirken farklı tekniklerin maliyetlerinin detaylı olarak dikkate alınması da faydalı olacaktır. 4. Bölümde verilen mali bilgilerin büyük bir kısmı, net olmaktan ziyade gösterge mahiyetindedir. Ele alınan kurumlar, mali bilginin ticari hassasiyeti ve çoğu durumda da mevcut örneklerin sınırlı sayıda olması nedeniyle bu durum kaçınılmaz hale gelmektedir. TNO'dan Profesör Beerkens, EIPPCB için bir rapor hazırlamış [tm32 Beerkens] ve mevcut bilgileri özetlemiştir; mali verilerin büyük bir kısmı bu rapora dayanmaktadır. Olası bir gelişme, belli bir kuruluma farklı seçeneklerin maliyet ve verimliliklerinin karşılaştırılması amacıyla bir dizi vaka incelemesinin karşılaştırılması olabilir. Bu durum farklı kurulumlarda maliyetleri karşılaştırma güçlüklerinin bir kısmının potansiyel olarak üstesinden gelecektir, ancak şu anda elde olmayan bilgiler gerektirecektir.

Su ortamına emisyonlar ve enerji kullanımı için mevcut en iyi tekniklerin belirlenmesinde kullanılabilecek tekniklerin değerlendirilmesi konusunda daha fazla çalışma yapılması faydalı olacaktır. Kaynak ve zamana ilişkin kısıtlamalar nedeniyle bu hususlar BREF'deki diğer bazı konular kadar detaylı değerlendirilmemiştir.

Bu belgede anlatılan tekniklerin bazıları gelişme aşamasındaydı ve önümüzdeki birkaç yıl içinde daha fazla bilgi edinilmesi beklenmektedir. Bu çalışmada yapılacak bir revizyonda bu tür gelişmeler ve edinilecek bilgilerin bu belge sonuçlarını nasıl etkileyeceği göz önünde bulundurulmalı.

Oksi-yakıt ateşleme sisteminin uygulanması daha başlangıç aşamalarındadır ve her ne kadar teknik hususların büyük bir kısmı çözüme kavuşturulmuş olsa da, ancak tekniğin uzun vadeli kullanımından elde edilecek bilgilerle değerlendirilebilecek hususlar hala mevcuttur. Özellikle de daha fazla tecrübe edinildiğinde oksi-ateşlemenin refraktör ömrü üzerindeki etkileri değerlendirilebilecektir. Bu, bazı sektörlerde tekniğin ekonomik uygulanabilirliği açısından önemlidir ve şu anda da bazı operatörleri bu tekniği uygulamaktan caydıran mali bir risk unsuru oluşturmaktadır. Ayrıca, tekniğin doğrudan maliyetleri, enerji tasarrufu ve oksijenin maliyeti arasındaki denge düşünülerek yeniden değerlendirilmelidir. Bu, tekniğin ekonomik cazibesinde kritik bir husus olabilir ve şu anda da durum Avrupa genelinde farklılık göstermektedir.

Aynı zamanda bazı hususların henüz kanıtlanmadığı veya bir bütün olarak sanayi için veya belli uygulamalar için itirazların bulunduğu diğer teknikler de mevcuttur. Örneğin, SCR, SNCR, Yeniden yakma ve hurda/yığın ön ısıtma. İşletim ile ilgili daha fazla tecrübe edinilmesi ardından bu alanlardaki gelişmeler de gözden geçirilmelidir.

Yerel Cam ve Kesintisiz Filaman Cam Elyaf Sektörleri için NO_x emisyonları için mevcut en iyi teknikler konusunda net sonuçlara ulaşmak zor olmuştur. Bu belge revize edilirken bu sektörlerin konumu ve önerilen tekniklerde elde edilen gelişmeler de gözden geçirilmelidir.

Bu belgenin 4 yıl içinde gözden geçirilmesi tavsiye edilmektedir.

8 EK I: ÖRNEK KURULUM EMİSYON VERİLERİ

Bu bilgi Bölüm 3’de verilen bilgiyi tamamlamak üzere sunulmaktadır. Bu tesisler gerçekler örneklerdir ve veriler gerçek ölçülen emisyonları temsil eder. Verilerin çoğu 1997 yılına ilişkindir. Bu örnekler AB’den gelen temsili veya tipik örnekler olarak sunulmaktadır, MEİT’in (Mevcut en iyi teknikler) göstergesi olarak sunulmamaktadırlar. Fosil yakıt fırınlarının çoğunluğu elektrik artırıcı tedarike sahiptir.

8.1 Cam Konteynır Sektörü

Burada sunulan veriler genellikle her bir tesisteki tek bir fırın içindir. Pek çok cam konteynır tesisi 2 veya daha fazla fırına sahiptir. Azaltma sistemleri genellikle bir fırından daha fazlasına mahsustur; bu durumda (örneğin, CG6) emisyon verileri de diğer fırınlara mahsustur.

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)	Azaltım Teknikleri/Yorumlar
CG 1	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	370	72	Hurda cam/ yığın ön ısıtıcı, Birincil NOx önlemleri, Elektrostatik çökeltici
CG 2	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	370	28	
CG 3	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Benzin	400	50	Düşük NOx ateşleyiciler Planlanan düşük sülfürlü FO’ya geçiş
CG 4	Son ateşlemeli	Benzin	70	41	Parfümeri için kaliteli kristal cam
CG 5	Son ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	244	10	Son dönemdeki doğal gaz ile ateşlemeye geçiş
CG 6	Son ateşlemeli Rejeneratif	Benzin	300	80	Asit gazı tutulum kulesi, Elektrostatik çökeltici, atık ısıtma kazanı (diğer bir fırına mahsus sistem).
CG 7	Birim eritici oksijen ateşi	Gaz	80	38	Eczacılık için borosilikat cam Hiç yığın sülfat yok Elektrostatik çökeltici
CG 8	İyileştirici	Gaz	400	Bilinmiyor	Birincil önlemler– düşük NOx ateşleyiciler
CG 9	Birim eritici oksijen ateşi	Gaz	350	65	Torba filtre ve atık ısıtma kazanı
CG 10	Birim eritici oksijen ateşi	Gaz	310	84	Dolaylı hurda cam ön ısıtıcısı, torba filtre ve atık ısıtma kazanı

Fırın	Eritme Enerjisi (GJ/ton)	Toz mg/Nm ³ (kg/ton)	NO ₂ olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	SO ₂ olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	HCl mg/Nm ³ (kg/ton)	HF mg/Nm ³ (kg/ton)
CG 1	3.49	24 (0.032)	708 (0.955)	402 (0.542)	7.2 (0.010)	ND
CG 2	4.12	127 (0.22)	772 (1.31)	645 (1.10)	NM	NM
CG 3	4.54	169 (0.29)	1080 (1.9)	2640 (4.3)	62 (0.106)	1 (0.002)
CG 4	7.16	175 (0.56)	700 (2.2)	950 (3.0)	NM	NM
CG 5	5.35	160 (0.28)	1528 (2.7)	198 (0.4)	25 (0.045)	2 (0.004)
CG 6	3.94	3 (0.005)	800 (1.25)	1300 (2.04)	11 (0.017)	0.3 (0.0005)
CG 7	5.98	<5 (<0.005)	2158 (0.61)	ND	NM	NM
CG 8	5.22	100 (0.22)	360 (0.8)	810 (1.8)	NM	NM
CG 9	3.35	NM	(0.7)	(0.8)	NM	NM
CG 10	3.35	(0.0006)	(0.5)	(0.6)	(0.013)	(0.0007)

ND = < tespit sınırı

NM = ölçülmedi

8.2 Düz Cam Sektörü

Bu tesislerin hepsi yaprak cam fırınlarıdır.

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)
FG 1	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Benzin (<2 %S)	600	1° NO _x (FENIX), 1998 veri. Atık ısıtma kazan
FG 2	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Benzin (2.3 %S)	450	1° NO _x 2.4 % S benzine düşürme
FG 3	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz veya Benzin (1 %S)	650	1° NO _x , EP + %100 toz dönüştürücü ile kuru yıkayıcı Atık ısıtma kazan
FG 4	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	600	1° Kontroller
FG 5	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	810	1° NO _x ve 3R (3R ile yalnızca 2/6 gaz deliği), EP + %100 toz dönüştürücü ile kuru yıkayıcı Atık ısıtma kazan
FG 6	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	500	SCR, EP + %100 toz dönüştürücü ile kuru yıkayıcı
FG 7	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	50:50 Gaz ve benzin	550	Kuru yıkayıcı ile torba filtre (susuz sodyum karbonat)

Fırın	Eritme Enerjisi (GJ/ton)	Toz mg/Nm ³ (kg/ton)	NO ₂ olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	SO ₂ olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	HCl mg/Nm ³ (kg/ton)	HF mg/Nm ³ (kg/ton)
FG 1	5.4	196 (0.43)	510 (1.1)	3381 (7.57)	39 (0.087)	4.8 (0.011)
FG 2	7.74	213 (0.68)	1473 (4.22)	2400 (6.87)	19 (0.062)	0.06 (0.0002)
FG 3	6.16	15 (0.04) ortalama	1300 (2.7) Ortalama	830 (2.1)	30 (0.082)	4 (0.011)
FG 4		156 (0.41)	2578 (6.82)	748 (1.98)	<10 (<0.03)	<1 (<0.003)
FG 5		11 (0.024) ortalama	1294 (2.94) ⁽¹⁾ ortalama	545 (1.24) ortalama	9 (0.02) ortalama	0.4 (0.0008) ortalama
FG 6	6.14	<10 (0.02)	495 (1.12)	295 (0.67)	<5	<1
FG 7	NM	<10 (<0.03)	2200 (6)	200 (0.56)	<30 (<0.08)	<5 (<0.02)

⁽¹⁾ 3R yalnızca 6 gaz deliğinden 2'sinde işlevseldi. Eğer tüm gaz delikleri 3R ile işleseydi, emisyon düzeyi <500 mg/Nm³ ve eritilen camın < 1.0 kg/ton'u olacaktır.

8.3 Kesintisiz Kesiksiz Cam Elyafı Sektörü

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)
CF 1	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>40	No 2° azaltım, ilave florür yığını.
CF 2	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>40	No 2° azaltım, "azaltılan" ilave florür yığını.
CF 3	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>40	No 2° azaltım, hiçbir ilave florür yığını yok
CF 4	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>75	1° NO _x , alkalin ayraçlar ile ıslak yıkayıcı, hiçbir ilave florür yığını yok.
CF 5	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>40	No 2° azaltım, yeni mülkiyet hiçbir ilave florür veya boron.
CF 6	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>55	1° NO _x , EP, hiçbir ilave florür yok.
CF 7	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	>75	No 2° azaltım, ilave florür yığını.
CF 8	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif	Gaz	50	EP/Kireç enjeksiyonu ile torba filtre?

Fırın	Eritme Enerjisi (GJ/ton)	Toz mg/Nm ³ (kg/ton)	NO ₂ olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	SO ₂ olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	HCl mg/Nm ³ (kg/ton)	HF mg/Nm ³ (kg/ton)
CF 1	14.9	158 (1.22)	1009 (7.8)	136 (1.31)	3 (0.03)	123 (0.94)
CF 2	18.2	218 (1.23)	968 (5.5)	133 (0.85)	3 (0.02)	93 (0.53)
CF 3	13	300 (1.2)	1140 (4.6)	56 (0.22)	4 (0.02)	17 (0.07)
CF 4	10.5	20 (0.22)	1100 (12.44)	270 (1.85)	0	0
CF 5	18.2	13 (0.05)	1070 (3.9)	135 (0.5)	5 (0.02)	21 (0.08)
CF 6	8.75	9.5 (0.04)	1350 (6.8)			
CF 7		294 (1.6)	672 (3.52)			258 (1.42)
CF 8	16.2	4.1 (0.02)	1020 (5.0)	620 (3.0)		1.0 (0.0005)

8.4 Yerel Cam Sektörü

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)
DG 1	Rejeneratif son-ateşleme	Başlıca gaz, benzin kullanabilir.	165	1° NO _x
DG 2	Rejeneratif son-ateşleme.	Gaz	65	1° NO _x
DG 3	Rekuperatif karışım eritici	Gaz ve Elektrik	30	Torba filtre.
DG 4	Elektrikli eritici	Elektrik	28	Torba filtre.
DG 5	Rejeneratif son-ateşleme. Ekstra beyaz Kalsiyum oksit cam.	Gaz	165	Birincil NO _x kontrolü, 1998 veri
DG 6	100 % Elektrikli Opal Cam	Elektrik	65	Torba filtre ve optimal yığın formülasyonu ile üstü soğuk elektrikli eritme.
DG 7	100 % Elektrikli Kristal Cam	Elektrik	32	Kurşunsuz kristal cam. 35 % Hurda cam.
DG 8	100 % Elektrikli Kalsiyum oksit ekstra Beyaz	Elektrik	48	Islak temizleyici 405 hurda cam
DG 9	Rekuperatif	Gaz	34	EP

Fırın	Eritme Enerjisi (GJ/ton)	Toz mg/Nm ³ (kg/ton)	NO ₂ olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	SO ₂ olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	HCl mg/Nm ³ (kg/ton)	HF mg/Nm ³ (kg/ton)
DG 1	4.8	109 (0.23)	2314 (4.9)	186 (0.58)		
DG 2	6.5	171 (0.7)	2087 (8.7)	3.1 (0.01)		
DG 3	9.5	<1.0 (<0.003)	1400 (3.5)			
DG 4	4.1	0.6 (<0.01)				
DG 5	4.96	108 (0.25)	1243 (2.9)	126 (0.29)		
DG 6	3.42	(0.02)	(1.0)	(0.02)		(0.001)
DG 7	3.8	1.7 (0.035)	11 (0.23)	0.36 (0.007)	0.42 (0.008)	0.05 (0.001)
DG 8	3.7	2.3 (0.02)	117 (1.07)	1.3 (0.011)	1.0 (0.009)	0.15 (0.0014)
DG 9		<1.0				

8.5 Özel Cam Sektörü

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)
SG 1	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif TV Panel Camı	Gaz veya benzin	230	EP ve SCR
SG 2	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif TV Huni Camı	Gaz veya benzin	180	Torba filtre
SG 3	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif TV Borosilikat Camı	Gaz %40'a kadar hafif yağ	50	Sülfatsız arıtım, kireç enjeksiyonu ile EP, SCR.
SG 4	100 % Elektrikli Borosilikat Cam	Elektrik	40	Üst kısmı soğuk elektrikli eritici, nitrat arıtma, torba filtre. 1998 veri.
SG 5	Rekuperatif Borosilikat Aydınlatma Camı	Gaz	34	Bu iki fırından yayılan emisyon bağlantılıdır ve 4 aşamalı bir EP ve SNCR'de işlem görmektedir. 10 NO _x kontrolleri SG 6'ya da uygulanmaktadır.
SG 6	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif Kalsiyum oksit Aydınlatma Camı	Gaz	150	
SG 7	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif TV Su Camı	Gaz ve benzin 50:50	320	EP ve SNCR
SG 8	Çapraz ateşlemeli Rejeneratif CRT Panel Camı	Gaz	220	EP ve SCR
SG 9	Çapraz Ateşlemeli Oksi-gaz CRT Huni ve Panel	Gaz	420	EP ve oksi-gaz ateşleme
SG 10	Çapraz Ateşlemeli Oksi-gaz CRT Huni	Gaz	280	EP, oksi-gaz ateşleme ve SNCR

Fırın	Eritme Enerjisi (GJ/ton)	Toz mg/Nm ³ (kg/ton)	NO ₂ olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	SO ₂ olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/ton)	HCl mg/Nm ³ (kg/ton)	HF mg/Nm ³ (kg/ton)
SG 1	7.7	10 (0.033)	800 (2.7)	70 (0.082)	1 (0.003)	0.6 (0.001)
SG 2	5.8	3 (0.006)	4300 (12)	50 (0.07)	2 (0.009)	0.3 (0.001)
SG 3	17.0	45 (0.47)	900 (9.44)	<1 (<0.01)	1 (0.01)	4.5 (0.05)
SG 4	7.99	10 (0.06)	85 (0.54)	<1 (<0.01)	10 (0.06)	0.5 (0.003)
SG 5	9.55	5	800	50	8	2
SG 6	6.01	(0.02)	(3.33)	(0.2)	(0.03)	(0.01)
SG 7	1020	10 (0.016)	500 (0.8)	350-500 (0.56-0.8)	15 (0.02)	-
SG 8	1400 - 1800	<<15 (<<0.06)	360 (1.5)	<10 (<0.04)	<<30 (<<0.1)	<<5 (<<0.02)
SG 9 19 % O ₂	1556 Panel 1389 Huni	1 (0.003)	1800 (5)	2 (0.005)	0.4 (0.001)	0.4 (0.001)
SG 10 20 % O ₂	1388	0.9 (0.004)	510 (2.08)	3.2 (0.014)	1.6 (0.007)	0.4 (0.002)

8.6 Maden Yünü Sektörü

İlk tedbirler ve tanımlanan azaltım tekniklerine ek olarak pek çok cam yünü biçimlendirme ve bakım operasyonu etkili jetler ve siklonlara sahiptir.

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)
GW 1	Oksi-yakıt tankı	Oksi-gaz	82 -165	Eritme için EP ve oksi-gaz. Soğutma için ıslak yıkayıcı.
GW 2	Elektrikli eritme	Elektrik	165 - 274	Fırında toz dönüştürücü ile torba filtre. Şekillendirme ve bakım sırasında ıslak yıkayıcı. Fırın >%70 yabancı hurda cama sahiptir.
GW 3	Elektrikli eritme	Elektrik	165 - 274	Fırında EP, bakım için venturi yıkayıcı. Hiçbir yabancı hurda cam yok.
GW 4	Rekuperatif (son ateşleme)	Gaz	27 -82	Bakım için venturi yıkayıcı.
GW 5	Rekuperatif	Gaz	82 -165	Fırında EP, şekillendirme ve bakım için ıslak EP.

Fırın	Çözünmez mg/Nm ³ (kg/t)	NO ₂ Olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/t)	SO ₂ Olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/t)	HCl mg/Nm ³ (kg/t)	HF mg/Nm ³ (kg/t)	Fenol mg/Nm ³ (kg/t)	Formaldehit mg/Nm ³ (kg/t)	Amonyak mg/Nm ³ (kg/t)
GW 1 Eritme Şekillendirme/ Bakım	7.5 (0.004) 15.7(0.078)	102 (0.63)	18 (0.035)	1.2(0.002)	0.2(0.0003)	2.1(0.164)	2 (0.141)	28 (2.16)
GW 2 Eritme Şekillendirme/ Bakım	1 (0.002) 25 (1.5)	30 (2.0)				12 (0.3)	2 (0.1)	60 (3.5)
GW 3 Eritme Şekillendirme/ Bakım	5 (0.02) 41 (2.61)	59 (0.14)			0.01	5.3 (0.34)		87 (5.56)
GW 4 Eritme Şekillendirme/ Bakım	1065 (7.51) 2548 (50)	704 (4.96)	1.5 (0.01)	70 (0.49)	0.8(0.005)	761 (21.7)	89 (1.75)	3046 (68)
GW 5 Eritme Şekillendirme/ Bakım	293 (0.373)	1706 (6.5) 371 (7.7)	0.9(0.004)	19 (0.081)	1 (0.005)	16 (1.114)	4.3(0.306)	43 (3.116)

Fırın	Fırın Tipi	Yakıt	Kapasite (ton/gün)	Hurda cam (%)
SW 1	Tank	Doğal gaz	82 -165	Fırında toz dönüştürücü EP. Şekillendirme ve bakımda ıslak EP.
SW 2	Tank	Elektrik		Fırında yakma kazanı ve torba filtre Şekillendirmede taş yünü filtre ve Bakımda yakma kazanı.
SW 3	Döküm ocağı	Kok kömürü		Fırında siklon, kombine şekillendirme ve bakımda taş yünü filtre.
SW 4	Döküm ocağı	Kok kömürü	>165	Fırında yakma kazanı, torba filtre ve kuru yıkayıcı. Şekillendirmede filtre ve bakımda yakma kazanı.
SW 5	Döküm ocağı	Kok kömürü	82-165	Fırında yakma kazanı ve torba filtre Şekillendirmede taş yünü filtre ve Bakımda yakma kazanı.
SW 6	Döküm ocağı	Kok kömürü	82 -165	Fırında yakma kazanı ve torba filtre Şekillendirmede taş yünü filtre ve Bakımda yakma kazanı. Yük olarak cüruf.

Fırın	Çözünmez mg/Nm ³ (kg/t)	NO ₂ Olarak NO _x mg/Nm ³ (kg/t)	SO ₂ Olarak SO _x mg/Nm ³ (kg/t)	HCl mg/Nm ³ (kg/t)	HF mg/Nm ³ (kg/t)	Fenol mg/Nm ³ (kg/t)	Formaldehit mg/Nm ³ (kg/t)	Amonyak mg/Nm ³ (kg/t)
SW 1 Eritme Şekillendirme/ Bakım	30 (0.1)	1210 (2.9)	165 (0.3)	1 (0.002)	0.4(0.001)	28 (6.9)		14(0.4)
SW 2 Eritme Şekillendirme/ Bakım	10 (0.002) 10 (0.3)	150 (0.03) 30 (0.15)	3000 (0.6)			30 (0.9) 0.2(0.002)	3 (0.1) 0.4(0.002)	60 (1.8) 20 (0.1)
SW 3 Eritme Şekillendirme/ Bakım	2600 (3.6) 12 (0.4)	300 (0.45) 4 (0.16)	930 (1.4) 2 (0.07)	H ₂ S 300 (0.4)		30 (1.1)	3 (0.1)	18 (0.7)
SW 4 Eritme Şekillendirme/ Bakım	6 (0.02) 19.5 (0.5)	159 (0.5) 160 (0.3)	385 (1.4)	15 (0.05)	2 (0.01)	18 (0.4) 7 (0.01)	7 (0.15) 7 (0.01)	55 (1.3) 45 (0.1)
SW 5 Eritme Şekillendirme/ Bakım	12.7 (0.02) 14.4(0.33) 13.2 (0.02)	169 (0.23) 89 (0.14)	1046 (1.4)		1 (0.001)	5 (0.11) 1 (0.002)	2 (0.05) 1 (0.002)	60 (1.4) 90 (0.15)
SW 6 Eritme Şekillendirme/ Bakım	57 (0.1) 44.5 (0.8) 14 (0.04)	175 (0.32)	1951 (3.6)	1.9(0.003)	1.1(0.002)	3.3 (0.06) 0.9(0.002)	10.9 (0.2) 2.8(0.005)	43 (0.78) 172 (0.31)

9 EK II: ENDÜSTRİYEL CAM FIRINLARI İÇİN ÖRNEK SÜLFÜR BAKİYESİ

Bölüm 4 ve 5’de, tesisin özel koşullarını belirlemek için veya çeşitli süreç seçenekleri arasında yapılacak kıyaslamayı temeli olarak, sülfür bakiyesinin kullanılmasına atıflarda bulunmaktadır. Bu ek sülfür bakiyesine iki örnek vermekte ve bu örneklerle ilişkin konuları açıklamaktadır. Seçilen örnekler, asitli gaz yıkayıcı ile birlikte bir filtre biriminden toplanan tozun tam ve kısmi dahili dönüşümüne sahip kalsiyum oksit fırınlarıdır (1 düz cam, 1 konteynır camı). Kullanılan rakamlar yalnızca örnektir ve özellikle örneklerde verilen emisyon düzeyleri MEİT’in göstergesi olarak alınmamalıdır.

Filtre tozunun toplam dönüşümü camın tipine, oksidasyon durumuna, SO_3 ’ü tutabilme kabiliyetine ve aslında genellikle fırının çalışma koşullarına (özellikle yakıt içindeki sülfür içeriğine) bağlıdır. Bu yönlerini göstermenin en iyi yolu aşağıdaki rakamlarda verildiği üzere tam bir sülfür bakiyesini incelemektir. Belirli bir vaka için, akış tutarlı bir birimde (SO_2 , SO_3 , veya S) kg/h olarak veya alternatif olarak SO_2 ’nın mg/Nm³ olarak verilebilir, çünkü belirli bir fırın için, konsantrasyon ve kütle akışı arasında dönüşüm faktörünü hesaplamak için doğrudur.

Fırın sülfür bakiyesi için girdiler aşağıdaki gibidir:

- Yığın malzemesinin yol açtığı sülfür girdisi
- Hurda camın yol açtığı sülfür girdisi (dahili+ harici)
- Yakıtın yol açtığı sülfür girdisi
- Geri dönüştürülen filtre tozunun yol açtığı sülfür girdisi

Çıktıları:

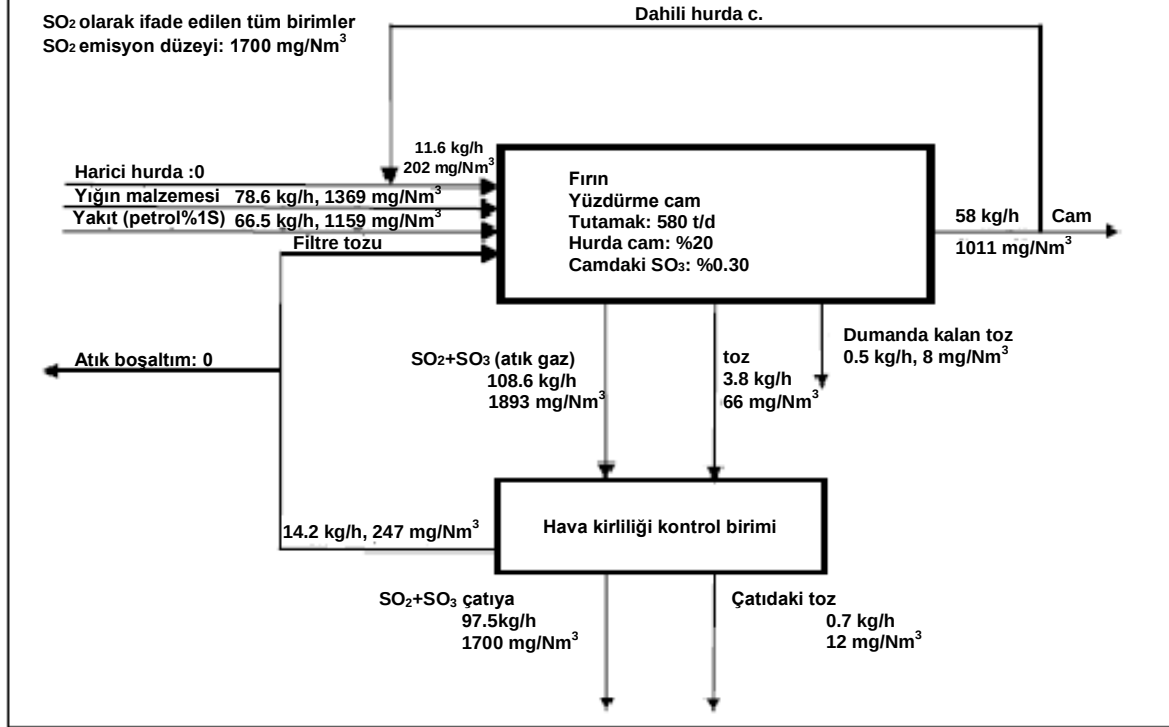
- Cam tutamak içindeki sülfür
- Duman gazı içindeki sülfür (SO_2+SO_3)
- Tozun ihtiva ettiği sülfür
- Rejeneratör ve duman içinde tutulan tozdaki sülfür (%1 ila 5 olduğu tahmin edilmektedir)

Genel sülfür bakiyesi, kirlilik kontrol birimi için olan sülfür bakiyesini, örneğin çatıdaki ve filtre tozundaki çıktıları, kapsamalıdır. Eğer filtre tozu miktarı cam tipi ile uyumlu değilse, en azından tozun bir kısmı için harici bir boşaltım güzergahı (genellikle toprak dolgusu) kullanılmalıdır. Alternatif olarak atık boşaltımını en aza indirmek için, yakıtın sülfür içeriği azaltılabilir. Bu ikinci seçenek genellikle hem çevrenin bir bütün olarak korunması açısından hem de ekonomik olduğu için tercih edilen bir yoldur.

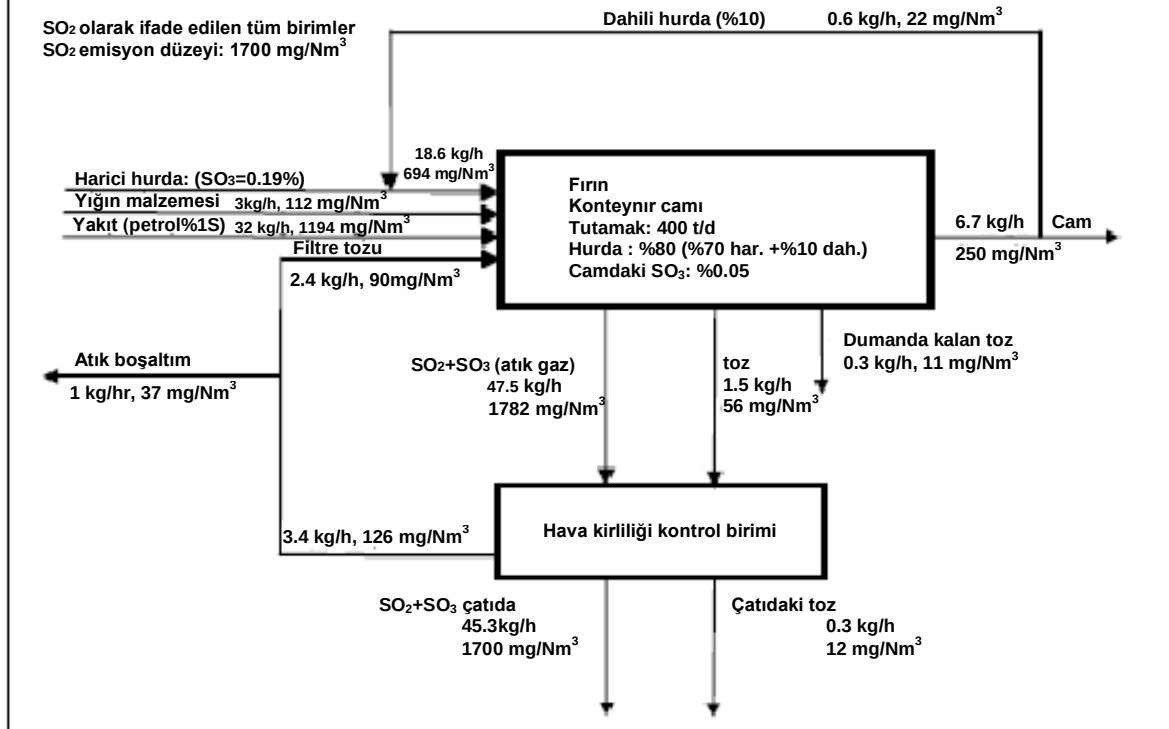
Filtre tozunun dönüştürülmesi, yığın malzemesi içindeki sodyum sülfat veya alçı taşının yerine geçmesi anlamına gelir. Dönüştürülebilecek potansiyel toz miktarı, arıtma için gerekli sülfat miktarına ve bu sülfatın filtre tozu ile ikame edilebilme ihtimaline bağlıdır. Geri dönüştürmek için tozun özellikleri ve potansiyeli, çalışma koşullarına ve kullanılan absorban (yıkayıcı malzeme) tipine bağlı olacaktır. Geri dönüştürme azaltım yeterliliği düşük olduğu için ve toz daha az oksidasyona uğradığı için kireç enjeksiyonu ile genellikle daha zordur. Sodyum karbonat veya sodyum bikarbonat ile yıkamadan kaynaklanan tozun dönüştürülmesi genellikle daha kolaydır.

Harici hurda cam ve ortalama kompozisyonu SO_3 girdisini de etkileyecektir. Eğer fırın benzin ile ateşleniyor ise, benzindeki her bir %1’lik sülfür SO_2 ’nin yaklaşık 1200 mg/Nm³’ne yol açacaktır. Camın içine absorbe edilebilecek sülfür miktarı, bazı azaltılmış camlar için neredeyse sıfırdan oksitleyici flint cam için yaklaşık 500 ila 700 mg/Nm³’e kadar değişiklik gösterir. Bu rakamlar yalnızca göstergedir.

Sülfür Bakiyesi, örnek 1



Sülfür Bakiyesi, örnek 2



10 EK III: EMİSYON İZLEME

Bu ek, temsili ve kıyaslanabilir sonuçlar elde etmek amacıyla, cam üretim sürecinden kaynaklanan emisyonun ölçümü için genel önerilerde bulunmaktadır. Bir dizi ulusal ve uluslararası yöntem ve prosedür emisyon ölçümü için uygulanabilir ancak onların kullanılması, cam imalat süreci gibi oldukça özel bir durumda genel yöntemlerin uygun kullanılmaması sebebiyle önemli ölçüde farklılık gösteren sonuçlara götürebilir.

10.1 Başlıca kirlenler

Cam Sanayinden gelen kirliliğin başlıca kaynağı eritme sürecindeki atmosferik emisyonlardır. Ancak, bazı sektörlerde işlem sonrası faaliyetlerde ciddi boyutta emisyonu tol açabilir. Cam Sanayi içinde tanımlanan sektörler için öne sürülen başlıca kirlenlerin bir özeti aşağıdaki tabloda verilmektedir:

Sektör/Faaliyet	Kirlenler
Konteynır Camı	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller
Sıcak son kaplama veya işlem	Toz, organik ve inorganik kalay, HCl, SO _x
Düz Cam	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller (renkli camlar için)
Yüzey işlemi	SO _x
Kesintisiz Cam Filaman	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, gazlı boron bileşikler
İşlem sonrası faaliyetler	Toz, VOC, formaldehit, amonyak, atık su
Yerel Cam	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika, ağır metaller
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller
İşlem sonrası faaliyetler	HF, atık su (cılalama ve taşlamadan kaynaklanan)
Özel Cam	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika, ağır metaller
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller, boron bileşikleri
İşlem sonrası faaliyetler	Toz, atık su (cılalama ve taşlamadan kaynaklanan)
Maden Yünü	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, gazlı boron bileşikler, H ₂ S
İşlem sonrası faaliyetler	Toz, VOC, fenol, aminler, amonyak, formaldehit, VOC, NO _x (bakım), atık su
Seramik Tel	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , H ₂ S, HF, HCl
İşlem sonrası faaliyetler	Toz, fiberler, atık su
Frit	
Malzemelerin aktarılması	Toz, kristal silika, ağır metaller
Eritme süreci	Toz, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, ağır metaller, boron bileşikleri
İşlem sonrası faaliyetler	Toz, atık su

Tablo 10.1: Cam Sanayinde ölçümü göz önünde bulundurulması gereken başlıca kirlenler

10.2 Emisyonların İzlenmesi

Emisyon izleme, izin verilen emisyon limitlerine uyum sağlanmasını sağlamak açısından evrensel olarak kullanılmaktadır. Bunun şekli ve sıklığı, doğrulanması gereken emisyonun derecesi ve kullanılan kontrol teknolojisi ile ilişkili olmalıdır. En yaygın şekilde uygulanan yöntemler aşağıda yer almaktadır:

- Azaltım tekniği performansının izlenmesi (örneğin, torba filtre basınç düşüşü)
- Kirletenlerin sürekli izlenmesi
- Kirletenlerin aralıklı ölçümü;
- Kütle bakiye hesaplaması.

Azaltım tekniği performansının izlenmesi

Genel olarak, bu, emisyon izleme için uygulanan minimum gerekliliktir. Bazı durumlarda, (örneğin, iyi anlaşılan sabit emisyon durumlarında) azaltım tekniği performansının değerlendirilmesi, iznin şartlarına uygunluğu belirlemek için yeterli olabilir. Pek çok durumda, azaltım ekipmanının arızasını veya yanlış işleyişini tespit edebilen otomatik teknikler uygulanmaktadır (örneğin, basınç düşüşünün ölçümü, sıcaklık, pH, vb.).

Sürekli ve/veya aralıklı olarak kirletenlerin ölçülmesi

Emisyon izleme, farklı kirletenlerin ölçümünü etkileyebilen veya sonuçların yorumlanmasını veya rapor edilmesini etkileyebilen tüm ilgili parametrelerin belirlenmesini gerektirir. Kontrollü maddelere (Toz, NO_x, SO_x, HCl, HF, vb.) ek olarak, aşağıda örnekleri verilen yayan kaynakların karakteristik parametrelerinin belirlenmesi gereklidir:

- Duman gazı hızı ve kütle akışı
- Sıcaklık
- Nem
- Oksijen konsantrasyonu
- Karbon dioksit konsantrasyonu
- Karbon monoksit konsantrasyonu

Emisyon ölçümü çeşitli unsurlardan etkilenebilir, özellikle bazıları cam eritme süreci koşullarında önemlidir. Pek çok durumda en önemli parametre aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

- Atık gaz sıcaklığı
- Tozun boyut dağılımı
- Atık gaz hızı
- Atık gaz nemi
- Kirletenlerden kaynaklanan gaz ve partikül
- Numune alma zamanı
- Referans koşulları

Atık gaz sıcaklığı

Fırından gelen duman gazı sıcaklığı ısı geri kazanım sistemi (rejeneratör, reküperatör veya gazda su verme) ve uygulanan azaltım tekniğine bağlı olarak ciddi değişiklik (genellikle çatıda 100 ila 850 oC) gösterebilir. Daha yüksek sıcaklıklar genellikle reküperatif tipi fırınlar ve/veya oksijen yakıt eritmeye uygundur. Daha düşük sıcaklıklar son derece seyreltilmiş atık gazlar için tipiktir (sürekli fırınlar, tüm elektrikli eritme işlemleri, azaltım ekipmanı olan bazı fırınlar, vb.). atık gaz sıcaklığından kaynaklanan olası ölçüm hataları aşağıdaki yollarla en aza indirgenebilir:

- Toz ölçümü için uygun filtrelerin ve propların kullanılması (organik bağlar olmaksızın kuartz veya cam fiber filtreler, yüksek sıcaklık contaları, vb.).
- Yüksek sıcaklıklarda kullanılmadan önce filtrelerin uygun şekilde havalandırılması. Ölçüm sırasında daha fazla kilo kaybını önlemek amacıyla, 400 - 600 °C'a kadar olan sıcaklıkta bir ön havalandırma aşaması tavsiye edilmektedir.
- Asit ve su yoğunlaşmasını önlemek amacıyla, özellikle yüksek nemin olduğu durumlarda, düşük atık gaz sıcaklıklarında ısıtılmış propların ve filtrelerin kullanımı.

Tozun boyut dağılımı

Eritme sürecinde ortaya çıkan tozun partikül çapı normalde çok küçüktür (1 µm'den az, ve genellikle 0.02-0.5 µm). Numune alımı sırasında partiküller kolayca toplanır ve, alkalin filtre malzemeleri kullanıldığında, duman gazında mevcut asitli gaz maddeleri ile reaksiyona girme eğiliminde olur. Bu durumu önlemek için, kimyasal olarak inert filtrelerin numune alımı için seçilmesi gerekmektedir. Partikül cismi sürekli olarak ölçüldüğünde, ince partiküllerin ölçüm ekipmanının optik parçalarından temizlenmesi zor olabilir, bu da toz konsantrasyonu için hatalı sonuçlara götürebilir. Uygun bir temizleme sistemi uygulanmalıdır.

Atık gaz hızı

Cam eritme sürecinden yayılan toz son derece ince partiküllerden oluşmuş olsa da, ölçümler isokinetik olarak gerçekleştirilmelidir. Borunun geometrisi ve numune alınacak noktanın konumu duman gazının hızını doğru ölçmeye olanak verecek şekilde seçilmelidir.

Atık gaz nemi

Atık gazlarda suyun yüksek oranda mevcut olması, oksijen-yakıt eritme ve hava/gaz fırınlarında, su azaltım ekipmanından önce soğutucu olarak kullanıldığında, oldukça yaygındır. Gazın yoğunlaşma noktasını belirleme numune alımı sırasında yoğunlaşmayı önlemek için yapılmalıdır. Gazlı kirlenler, özellikle SO₃ açısından zengin duman gazında, yoğunlaşma riski olan her an ısıtılmış proplar kullanılarak ölçülmelidir. Bu durum, kesintisiz cam filaman, cam fiber, vb. gibi ıslak yıkayıcıların kullanıldığı bazı işlem sonrası süreçler için de aynıdır. Su yoğunlaşması oluştuğunda, ortaya çıkan sıvı, örneğin sülfür oksitleri gibi gazlı kirlenlerin olası tutulumunu belirlemek için kontrol edilmelidir.

Kirlenlerden kaynaklanan gaz ve partikül

Bazı kirlenler hem partikül hem de gaz formunda atmosfere yayılabilir. Eritme sürecinden kaynaklanan bazı maddeler için durum böyledir; örneğin, belirli boron bileşikleri (özellikle borik asit), selenyum, arsenik, civa (aydınlatmadan kalan hurda cam kullanılırsa), aynı zamanda cam kap için sıcak son kaplama faaliyetinden artan kalay klorür. Yüksek buhar basıncından ve düşük yoğunlaşma sıcaklığından (160 oC altında) dolayı borik asit atmosfere başlıca gaz formunda yayılır. Camı renklendirmek veya ağartmak için kullanılan selenyum, 60 – 100 °C kadar düşük yoğunlaşma sıcaklığına sahip son derece uçucu bileşiklerin oluşması nedeniyle yüksek gaz emisyonuna yol açabilir. Bu tür durumlarda, değerlendirme hatalarını önlemek için numune alma treni hem partikül hem de gaz bileşenleri aynı anda alacak kombine bir sistem ile donatılmalıdır.

Numune alma zamanı

Rejeneratif fırınlarda, temsilci bir numunenin alınması için yeterli bir numune alma zamanını gerektiren standart prosedüre ek olarak, iyi bir uygulama rejeneratörlerin tersine dönebilen döngüsünü dikkate alınmalıdır. Aslında, eritme sürecinden kaynaklanan emisyonlar, döngü sırasında artan oda sıcaklık döngüsü ile ciddi oranda değişiklik gösterebilir. Kıyaslanabilir sonuçları olan ölçümler yapabilmek amacıyla, numune alma zamanı çift sayılı bir ateşleme döngüsünü kapsamalıdır. Bu, azaltım ekipmanının temizleme döngüsünde de söz konusu olabilir.

Referans koşullar

Normal olarak, emisyon sınır değerleri, 0 °C, 101.3 kPa olarak belirtilen konsantrasyon anında ve aşağıda örnekleri verilen diğer özel koşullarda verilmektedir:

- Sürekli eritme fırınları: hacim olarak %8 oksijen, kuru
- Kesintili fırınlar: hacim olarak %13 oksijen, kuru
- Diğer emisyon kaynakları: oksijen veya su buharı için hiçbir bağlantı yok

Genel olarak kirletenlerin konsantrasyonu emisyon sınır değerleri ile uyumu tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu durum, doğrudan ölçüldüğü ve emisyon unsurlarının veya özel emisyonların (örneğin, erimiş camın ton başına düşen emisyon kg) tanımlanması için genellikle ihtiyaç duyulan üretim süreci ile ilgili ilave bilgi edinilmesini gerektirmediği içindir. Ancak, emisyon sınır değerleri bazen hem konsantrasyonda (mg/m³) hem de emisyon faktörlerinde (kg/ton cam, kg/h, g/h) verilir. Özellikle son derece seyreltilmiş atık gazlar (ör, elektrikli fırınlar) için geçerlidir ve genellikle yüksek oranda oksijen (oksi-yakıt yanması) olduğu durumlarda. Oksijeni %8 veya 13'e düzeltme, eritme sürecinde oksijen yerine fosil yakıt ve hava kullanan fırınlar ile kıyaslanamayacak sonuçlar ortaya koyacaktır.

Sürekli izleme

Sürekli izlemenin uygulanması genellikle, en ilgili kütle akışı olması ve nispeten sabit emisyon düzeyine sahip olması sebebiyle, eritme fırınından kaynaklanan emisyon ile sınırlıdır. Emisyonların sürekli izlenmesi “yerinde” veya özütlemeli ölçüm ekipmanı ile gerçekleştirilebilir. “Yerinde” ölçümler, duman gazı sıcaklığında ve numune alma noktası nem düzeyinde çatı/baca boyunca gerçekleştirilir. Özütlemeli ölçümler duman gazı numunesinin havalandırılması ve kuru gazdaki kirleten konsantrasyonunun ona müteakip belirlenmesine dayanmaktadır. Her iki sistem de aralıklı ölçüm yöntemleri vasıtasıyla dikkatli bakım ve periyodik kalibrasyon gerektirir. Özellikle “yerinde” ölçüm yapan cihazlar ile gerçekleştirilen ölçümler, fırında üretilen farklı camlara (yeşil, kahverengi, yarı-beyaz) göre değişiklik gösteren renk ve partikül boyutu dağılımından ve ateşleme için kullanılan yakıt tipinden etkilenebilir.

Sürekli ölçülebilen parametreler ve önerilen yöntemler aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Parametre	Yöntem
Oksijen	Paramanyetik, zirkonyum oksit hücre
Toz	Hafif bulanıklık, ışık saçılımı
Azot Oksit (NO)	Kızılötesi veya UV fotometri, kimyasal ısıtılma
Azot Oksit (NO + NO ₂)	Kızılötesi veya UV fotometri, dönüştürücü (NO ₂ 'yi NO'ya) ile donatılmış kimyasal ısıtılma
Sülfür Dioksit	Kızılötesi veya UV fotometri
Karbon Monoksit	Kızılötesi fotometri
Toplam Hidrokarbonlar	Alev İyonizasyon Detektörü (FID)

Tablo 10.2: Kesintisiz İzleme Teknikleri

Diğer kirlenler, örneğin HF ve HCl, sırasıyla potansiyometri yöntemi ile ve IR fotometri ile veya potansiyometrik yöntem ile kesintisiz ölçülebilir. Ancak, bu ölçümlerin gerçekleştirilmesi çok kolay değildir ve analizörlerin sık sık kalibrasyonunu gerektirir. Bu kirlenlerin kesintisiz izlenmesi, yığın kompozisyonunda klor ve flor bileşiklerinin kullanımının vurgulandığı belirli cam süreçleri için uygun olabilir ve azaltım sisteminin ardından emisyon ile sonuçlanabilir.

Bazı Üye Ülkelerde, ulusal mevzuat aşağıda verilen değerlerden daha yüksek kütle akışlarına uygulanacak sürekli emisyon izlemeyi gerektirmektedir:

Madde	Kütle akışı (kg/h)
Toz	2 - 25
Sülfür Dioksit	50 - 150
Azot Oksitler, NO ₂ gibi	30 - 150
Karbon Monoksit, yanmanın yeterliliğini değerlendirmek için	5
Karbon Monoksit, tüm diğer vakalar	100
Flor bileşikler, HF gibi	0.5
Klor bileşikler, HCl gibi	3 - 20

Not: Tabloda verilen aralıklar Alman ve Fransız mevzuat gerekliliklerinden örneklerdir, düşük değerler Alman mevzuatındandır.

Tablo 10.3: Kesintisiz izleme için kütle akışları (Fransa ve Almanya)

Aralıklı ölçümler

Uygun filtre malzemeleri ile veya adsorbe eden solüsyonlar veya kesintisiz özütleme ölçüm ekipmanının (örneğin, NO_x, SO₂, vb. için IR, UV fotometri) kullanılması ile farklı kirlenlerin (genellikle toz, SO_x, HCl, HF, metaller) ayrılması ile münferit ölçümler gerçekleştirilebilir. Gereken ölçüm sayısı genellikle emisyon değişkenliği ve kontrol edilecek operasyonun uzunluğu baz alınarak saptanır. Bazı durumlarda, operasyon yalnızca tek bir ölçümün (ör. Ham maddelerin aktarılması) yapılmasına olanak veren zaman zarfında gerçekleştirilmektedir. Ancak, pek çok durumda sabit emisyonlar tarafından karakterize edilen kesintisiz bir süreç için en az üç ayrı ölçüm gerekmektedir, ve değişken emisyonlar için beş ayrı ölçüm gerekmektedir. Özel durumlarda, 8-10'a kadar ölçüm gerekli olabilmektedir.

Kullanılan en yaygın yöntemlerin genel bir göstergesi aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Kirleten /Parametre	Yöntem
Toz	Filtreleme ve gravimetrik tespit
Azot Oksitler (NO + NO ₂)	IR veya UV fotometri, kimyasal ışıltışma. Uygun solüsyon içinde emilim ve kimyasal kararlılık (renk ölçüm, iyon kromatografi, vb.)
Sülfür Dioksit (SO ₂)	IR veya UV fotometri
Sülfürün Oksitleri (SO ₂ + SO ₃)	Uygun solüsyon içinde emilim ve kimyasal kararlılık (titrasyon, iyon kromatografi, ICP)
Sülfür Oksit (SO ₃)	Uygun solüsyon içinde emilim ve kimyasal kararlılık (titrasyon, iyon kromatografisi)
Metaller (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb, vb.)	Filtreleme ve/veya uygun solüsyon içinde emilim. AAS, ICP ile tespit.
Klorür, HCl gibi	Filtreleme ve uygun solüsyon içinde emilim. İyon kromatografisi, titrasyon ile tespit
Flüorür, HF gibi	Filtreleme ve uygun solüsyon içinde emilim. İyon özel elektrot, iyon kromatografisi ile tespit
Hidrojen Sülfid	Filtreleme ve uygun solüsyon içinde emilim. İyon kromatografisi, kolorimetrik kararlılık veya geri titrasyon
Formaldehit	Uygun solüsyon içinde emilim. Kolorimetrik veya HPLC Kararlılık
Fenol	Uygun solüsyon içinde emilim. Gaz (sıvı) Kromatografisi Veya kolorimetrik kararlılık
Amonyak	Uygun solüsyon içinde emilim. İyon kromatografisi, kolorimetrik veya iyon seçici elektrot kararlılığı
Aminler	Uygun solüsyon veya silika jel içinde emilim. GC, HPLC veya GC-MS kararlılığı
Uçucu Organik Bileşikler	Alev İyonizasyon Detektörü (FID)
Oksijen	Paramanyetik, zirkonyum oksit hücre
Karbon Monoksit	IR fotometri
Karbon Dioksit	IR fotometri

Not: Sıralanan teknikler örnektir ve Cam Sanayinde farklı kirletenlerin belirlenmesi için kullanılabilecek tüm analitik teknikleri kapsamaz.

Tablo 10.4: Kesintisiz izleme teknikleri

Genel olarak, ulusal ve uluslararası standartlaştırılmış yöntemler (ISO, CEN, VDI, EPA, vb.) ilgili emisyon parametrelerinin çoğunun ölçülmesi için mevcuttur. Ancak, bir dizi madde için böyle standartlaştırılmış bir metodoloji yoktur. Çoğu organik madde (fenol, formaldehit, amineler, vb.) için ve ayrıca hem partikül hem de gaz formunda atmosfere salınabilen pek çok inorganik bileşik (ör. Boron bileşikleri) için de durum aynıdır. Daha öncede belirtildiği gibi, iyi yaygın uygulama farklı fraksiyonları tanımlama ve nicelme amacıyla birleşik numune alımının (filtreleme ve emilim) gerçekleştirilmesini tavsiye eder.

Kütle bakiye hesaplama

Bazı durumlarda ve belirli kirletenler için, bir kütle bakiye hesaplaması süreç emisyonlarının iyi bir değerlendirmesini sağlayabilir. Bir süreç aşamasında (ör. Etirme süreci) özel bir maddenin girdi ve çıktısı herhangi bir kimyasal ve/veya fiziksel değişiklikler ile birlikte yeterli netlikte bilindiği zaman, kütle bakiyesi emisyonları değerlendirmek için kantitatif bir yöntem olarak kullanılabilir. Örneğin, bu durum eritmeden kaynaklanan SO₂, opal cam üretiminden kaynaklanan HF veya bronz veya flint cam üretiminde selenyum içinde geçerlidir. Genellikle, kütle bakiye hesaplaması ölçülen emisyon düzeyleri arasında bir kıyaslama yapmak için kullanılmaktadır.

Ölçüm sonuçlarının yorumlanması ve bildirilmesi

Emisyon ölçümlerinin sonuçlarının bildirilmesinde yorumlamaya makul bir standart getirmek için, en azından aşağıda sıralan bilgilerin belirlenmesi önemlidir:

- Uygulanan izleme yöntemi;
- Uygulanan yöntemin kesinliği;
- İlgili operasyon koşulları (süreç verileri);
- Referans koşullar (ölçüm noktasında nem, sıcaklık, vb.); ve
- Tüm ayrı ayrı ölçümlerin sonuçları veya kesintisiz izleme olması durumunda, tüm yarım saatlik, saatlik veya günlük ortalama konsantrasyonların sıklık dağılımı.

Sonuçlar

Bu ek, Cam Sanayinde emisyonların izlenmesi için her hangi bir standart metodoloji sunma çabasında değildir. Uygun olan durumlarda, normal olarak saptanan yöntemler vardır ve her bir uygulama için değerlendirilmelidir. Bu ekin amacı genel bilgi vermek ve farklı MEİT uygulanması ile elde edilebilecek emisyon düzeylerinin hatalı değerlendirilmesine ilişkin potansiyel kaynakları ortaya koymaktır.

11 EK IV: ULUSAL MEVZUAT

Aşağıda Üye Devletler tarafından sunulduğu şekliyle mevzuat yer almaktadır. Alınan bilgi üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

11.1. Lüksemburg mevzuatı

İzinlere dayalı olarak mantar cam fırınları için emisyon limit değerleri:

Kirletici madde	Tesis 2	Birim	Ortalama süre
Toz	50	mg/Nm ³	Günlük ortalama
SO ₂	500	mg/Nm ³	Saatlik ortalama
NO _x	500*	mg/Nm ³	Günlük ortalama
HCl	30	mg/Nm ³	Saatlik ortalama
HF	5	mg/Nm ³	Saatlik ortalama

* Fırının yeniden inşası ve 3R'nin optimizasyonu ardından aranacak hedef değer.

Referans koşullar:

0 °C, 1013 mbar, kuru, 8 % O₂

Ölçüm aralığı:

- Toz ve NO_x: sürekli
- Diğer tüm maddeler: yılda bir kez

11.2. İlgili Hollanda mevzuatı ve yönetmeliği

Çerçeve mevzuatı

Hollanda'nın iki temel çerçeve çevre yasası bulunmaktadır; bunlar, "Çevresel Yönetim Kanunu" ve "Yüzey Suları Kirlilik Kanunu" şeklindedir. Bu kanunlar ikisi bir arada çevre izinleri için bir çerçeve oluşturur ve izin için gerekli şartların oluşturulmasına olanak verir. Bu kanunlar, IPPC Direktifi ile uyumlaştırılmıştır ve yetkili otoritelerden koordineli lisans prosedürü ile entegre izin garanti edilmektedir.

Bu iki çerçeve kanunu, potansiyel olarak kirlileme ihtimali bulunan faaliyetler için şartlar koyan bir dizi Kararname ve Yönetmelik üzerinde bulunan kanunlardır.

Yönetmelikler

Hollanda emisyon yönetmelikleri (NeR)

Hollanda Emisyon Yönetmelikleri (NeR), işlemlerden havaya kaynaklanan emisyonlarla alakalıdır ve ruhsat verilmesi veya ruhsat koşullarının uyumlaştırılması için bir kılavuz görevi görür. Hollanda Emisyon Yönetmelikleri, 1 Mayıs 1992 tarihinden itibaren ruhsat verilmesi işleminde kılavuz olarak kullanılmalıdır.

Hollanda Emisyon Yönetmelikleri, bazı maddelerin sınıflandırılmasının son Toksikolojik bulgular ışığında uyarlanmış olması dışında Alman TA-Luft ile aynı temel konsepti takip etmektedir. Ayrıca, bazı madde sınıfları için emisyon sınıfları, mevcut en iyi tekniklere ilişkin mevcut bilgilere paralel olarak uyumlaştırılmıştır.

Hollanda Emisyon Yönetmeliklerinde farklı maddeler için konsantrasyon standartları verilmektedir; bunlar toplu akışa bağlı olarak uzak nokta kaynakları için üst limitleri oluşturmaktadır. "Özel yönetmelikler", küçük boşaltımlar ve dağınık kaynaklardan kaynaklanan emisyonların sınırlandırılması için gerekli önlemlerden oluşur. Ayrıca, "özel yönetmeliklerde", belli sanayiler veya belli kurulumlar için "genel emisyon standartlarından" ayrılan kurallar da verilmektedir.

Hem cam sanayi hem de mineral yünü sanayi özel bir yönetmelik kapsamında yer almaktadır. Mineral yünü sanayi için özel yönetmelik Mayıs 1992’de çıkarılmıştır. Bu yönetmelik aşağıdaki şartları getirmektedir:

“Sülfür oksitleri

Eritme fırınlarından kaynaklanan sülfür dioksit emisyonu, SO₂ konsantrasyonuna bağlı olarak azaltılmalıdır. 1500 [mg/Nm³] altındaki konsantrasyonlar için olasılıklardan biri kireç enjeksiyonudur.

1000 [mg/Nm³] üzerindeki konsantrasyonlar için sülfürik aside çevirmek bir alternatif olabilir. Yayılan atık gazlar içindeki SO₂ konsantrasyonu, işleme ardından 400 [mg/m³]’yi aşamaz.

Parçacıklar:

Parçacık emisyonları, kumaş filtreler veya benzer bir artık konsantrasyonunun sağlanabileceği diğer bazı teknikler kullanılarak kontrol altına alınmalıdır.

Organik maddeler:

Kümüleşyon kuralı da dâhil Hollanda Emisyon Yönetmeliklerinin genel standartları organik maddeler emisyonları için de geçerlidir”.

Cam sanayi için özel yönetmelik, Aralık 1993’te yayınlanmıştır. “Cam sanayi için özel yönetmeliğin” tamamının çevirisi, Cam ve Mineral Yünü Sanayi için mevcut en iyi teknikler konusundaki Hollanda Notlarında bulunmaktadır. Bu yönetmelik, düz cam, sürekli filaman elyaf ve cam yünü için geçerli değildir. Ancak, yönetmelikte şöyle denilmektedir; “bu işlemlerden kaynaklanan emisyonların kontrol altına alınabilmesi için bu yönetmelikte belirtilen teknolojiler prensipte levha cam imalatındaki oksit-yakıt istisnası dışında uygulanabilir”.

Cam sanayi için özel yönetmeliğin temelleri, cam sanayi tarafından takip edilmesi gereken iki temel yol olduğu gerçeğinde yatmaktadır. Yollardan biri, 2003 yılından önce oksit-yakıt teknolojisini getirilmesini ve 2010 yılından önce de tozdan arındırma ve emici enjeksiyon işlemlerine geçilmesini ima etmektedir. Diğer yol ise 2003 yılından önce tozdan arındırma ve emici enjeksiyon işlemlerinin getirilmesini ve 2010 yılından önce de NO_x azaltma işlemine geçilmesini ima etmektedir. Aşağıda yönetmelikten önemli bir örnek verilmektedir:

Önlemler paketi 1) mevcut teknoloji çerçevesinde yakıcı önlemleri ile birlikte elektrostatik filtre/emici enjeksiyon kullanılması ve ardından da NO_x emisyonlarını kontrol altına almayı amaçlayan önlemler

Mümkün olan kısa süre zarfında ve şartlar ne olursa olsun en geç 2003 yılından önce; geliştirilmiş yanıcı teknolojisi ile bir arada emici enjeksiyon ile birlikte elektrostatik filtre kullanılması. Fırının sonradan tamiri esnasında ve şartlar her ne olursa olsun 2010 yılından önce NO_x emisyonlarını sınırlandıracak önlemlerin uygulanması. NO_x emisyonlarının sınırlandırılması için hangi önlemlerin uygulanacağını seçilmesi, teknolojik gelişmelere bağlı olacaktır.

Önlemler paketi 1’den kaynaklanan emisyon faktörlerindeki trendin normatif olmayan göstergesi:

Bileşen	Mevcut seviye		2003 yılına kadar	2010 yılına kadar
NO _x (kg/ton erimiş cam)	5.0	(-%20)	4.0	p.m.
SO ₂ (kg/ton erimiş cam)	2.5	(-%60)	1.0	1.0

p.m.: 2003–2010 yılları arasındaki dönemde NO_x’e karşı alınacak önlemlerle emisyonlarda sağlanabilecek azalma, büyük ölçüde teknolojik gelişmelere bağlıdır ve daha sonra belirtilecektir.

Önlemler paketi 2) Oksi-yakıt teknolojisinin kullanılması ardından da SO₂, toz, flor ve klorürü azaltmayı amaçlayan önlemler

Mümkün olan en kısa zaman zarfında ve şartlar ne olursa olsun en geç 2003 yılından önce oksi-yakıt işlemine geçiş. 2003 yılından sonra veya mümkün olan en kısa süre zarfında ve şartlar ne olursa olsun en geç 2010 yılından önce gelişmiş en son teknolojinin kullanılması, örneğin, emici enjeksiyonlu elektrostatik bir filtre veya eşdeğer bir emisyon sınırlandırıcı teknoloji uygulanmalıdır.

Önlemler paketi 2'den kaynaklanan emisyon faktörlerindeki trendin normatif olmayan göstergesi:

Bileşen	Mevcut seviye	2003 yılına kadar		2010 yılına kadar
NO _x (kg/ton erimiş cam)	5	1		1
SO ₂ (kg/ton erimiş cam)	2.5	2.5	(- 60 %)	1
toz (kg/ton erimiş cam)	0.4	0.3		0.1

Emisyonların sınırlandırılması için bir araç olarak önce oksi-yakıt işleminin uygulanmasının sonucu, diğer emisyonların (özellikle kurşun, HF ve HCl) Hollanda Emisyon Kurallarının şart ve koşullarını yerine getirmesi gerektiği son tarihin ikinci aşamada getirilecek önlemlerin uygulama takvimi ile paralel olması gerektiğidir.

Yukarıda bahsi geçen önlemlerin uygulanması – teknolojideki gelişmeler de göz önünde bulundurularak – fırınları tamir etme ve/veya izinleri gözden geçirme zamanı geldiğinde yetkili otorite tarafından daha detaylı olarak değerlendirilmelidir. Ayrıca, daha kısa vadede önlemlerin daha hızlı veya kombine bir şekilde sağlayacak münferit cam fırınlarında bazı durumlar ortaya çıkabilir. Genel olarak konuşacak olursak, uygulamaya yönelik araştırmaların sonuçları, örneğin incelenen teknolojilerin temel maliyet faktörlerinin mevcut bilgilerden sapma gösterdiğini gösterirse (pozitif anlamda), bu durum, 2003 yılından önce kombine önlemlerin uygulanabilirliğini yeniden değerlendirmeyi gerektirecektir.

Hollanda emisyon yönetmeliklerinde yer alan emisyon standartları yasal olarak bağlayıcı değildir ve Hollanda emisyon yönetmelikleri mevcut bağlayıcı anlaşmaların yerini almaz. Ancak, eğer ruhsat veren otorite Hollanda emisyon yönetmeliklerinden sapmak istiyorsa, bunun neden yaptığını gerekçeleri ile birlikte ruhsatın önsözünde açıkça belirtmelidir.

Gönüllü anlaşmalar

Gönüllü anlaşmalar veya sözleşmeler (Hollanda dilinde: "Convenanten"), belli sanayi sektörleri için çevre politikalarının uygulanmasına ilişkin niyet bildirgeleridir. Niyet bildirgeleri, otoriteler ile sanayi arasındaki anlaşmalardır. Bir sözleşmeye taraf olmak hem yetkili otoriteler hem de şirketler için çevrenin ıslahı ve çevre yatırımlarında daha şeffaf, uyumlu ve tahmin edilebilir bir yol çizebilme avantajı verir. Sözleşmeler günümüzde üç alanda uygulanmaktadır:

- “Geleneksel” kirleticiler üzerinde genel çevresel performans.
- Enerji verimliliği
- CO₂'nin azaltılması

“Geleneksel” kirleticiler üzerinde genel çevresel performans

Bu gönüllü anlaşma niyet bildirgesinde, otoriteler, Ulusal Çevre Politikası Planı (NEPP), Su Yönetimi Mutabakat Zaptı, Kuzey Denizi Eylem Planı, Ren Nehri Eylem Programı, Enerji Korunumu Mutabakat Zaptı ve imzalanma zamanındaki diğer resmi planlara dayalı olarak Entegre Çevre Hedef Planı (IETP) oluşturmuşlardır.

Entegre Çevre Hedef Planı, ilgili sanayi sektörünün neden olduğu “geleneksel” kirleticilerin (SO_x, NO_x, VOC, ağır metaller, PAH, vb.) çevreyi kirletmesi ile alakalıdır. Entegre Çevre Hedef Planı (IETP), 1994/1995, 2000 ve 2010 yılları için hazırlanmıştır.

Havaya, suya ve toprağa emisyonlarda azalmanın yanı sıra, IETP ayrıca enerji korunumu, suyun korunması, toprağın temizlenmesi, tehlike riski, koku sorunları, gürültü ve iç yönetim sistemlerine ilişkin politikaları da bünyesinde bir araya getirmektedir. Ancak, özellikle enerji korunumu ve CO₂’nin azaltılması için başka iki sözleşme daha imzalanmıştır.

“Kimya sanayi” için 2 Nisan 1993 tarihinde bir niyet bildirgesi imzalanmıştır. Önemli faktörlerden biri, kimya sanayideki çok çeşitli şirketler göz önünde bulundurularak her bir şirketin IETP’nin uygulanmasına katkısının değişiklik gösterebileceği yönündeki anlayıştır. Her bir şirketin sanayi içinde IETP’nin uygulanmasına katkıda bulunma sorumluluğu, bu şirketlerin aktif bir tutum takınmalarını gerektirmektedir. Bir şirketin katkısı, her bir şirket tarafından hazırlanacak Şirket Çevre Planlarında (“BMP”ler) tanımlanacaktır. Bu BMP’ler, her dört yılda bir yenilenir ve ruhsat veren otorite ile karşılıklı mutabakat sonucu ortaya çıkarılmaları gerekir.

Enerji Verimliliği: Enerji Verimliliği konusundaki Uzun Vadeli Anlaşmalar.

Hollanda’da Ekonomik Bakanlığı ile birçok sanayi sektörünün temsilci tesisleri arasında “Enerji Verimliliği konusunda Uzun Vadeli Anlaşmalar (MJA)” yapılmıştır. MJA’ların en önemli özelliği, belli bir zaman çerçevesi dâhilinde ilgili sanayi sektöründe enerji verimliliğinin artırılması için hedef değerdir. MJA’ların hazırlanması için tek tek şirketler ve kolaylaştırıcı kurum, ki bu kurum NOVEM’dir, arasında ikili anlaşmalar yapılır. Hollanda’da Ekonomik Bakanlığı ile birçok sanayi sektörünün temsilci tesisleri arasında “Enerji Verimliliği konusunda Uzun Vadeli Anlaşmalar (Hollanda dilinde: MJA)” yapılmıştır.

MJA’ların en önemli özelliği, belli bir zaman çerçevesi dâhilinde ilgili sanayi sektöründe enerji verimliliğinin artırılması için hedef değerdir. MJA’ların uyumlaştırılması için tek tek şirketler ve kolaylaştırıcı kurum olan Hollanda Çevre ve Enerji Ajansı (Hollanda dilinde: NOVEM) arasında ikili anlaşmalar yapılır.

Cam sanayi için 17 Temmuz 1992 tarihinde bir MJA imzalanmıştır ve 1989–2000 dönemi için kararlaştırılan enerji verimliliği artırma oranı % 20 olarak kararlaştırılmıştır [78]. Enerji verimliliğinin artırılması, Hollanda cam üretim sanayinin 1990–2010 dönemi için teknolojik uzun vadeli planı ile oluşturulmuştur [7]. Bu planda 1990–2000 dönemi için aşağıdaki enerji tasarrufu önlemlerinin uygulanması öngörülmüştür:

- Yığın ve hurda camlara ön ısıtma yapılması;
- Ham madde içindeki hurda oranının artırılması;
- Daha az enerji tüketen yeni fırın tasarımları;
- Isı alışverişi daha iyi olan yakıcılar;
- Ürün kalitesinin artırılması (daha az üretim kaybı);
- Ağırlığı az olan ürünler
- Oksi yakıtlı yakma sistemleri.

Enerji verimliliğinde üzerinde mutabakata varılan % 20’lik artışın 1989–2000 döneminde yaklaşık 45 milyon Euro daha fazla ekstra yatırım sağlaması beklenmektedir [7]. Şu anda enerji verimliliği konusundaki uzun vadeli anlaşmaların ikinci nesli için müzakereler sürdürülmektedir. Hem hedefler hem de kapsam henüz belirlenmemiştir ve uzun vadeli anlaşma yerine “kıyaslama sözleşmesi” (bkz. Bir sonraki konu başlığı) yapmak isteyen bazı cam şirketleri de olabilir.

CO₂’nin azaltılması: Kıyaslama sözleşmesi

Hollanda’nın Kyoto Anlaşmaları çerçevesinde CO₂ emisyonlarını azaltması gerekmektedir. CO₂ emisyonlarının azaltılması için en önemli önlemlerden biri enerji verimliliğinin artırılmasıdır. Kıyaslama sözleşmesi, Hollanda otoriteleri ve Hollanda’nın enerji yoğun endüstrisi arasında imzalanan bir anlaşmadır. Sanayi bu anlaşma ile enerji verimliliği konusunda dünyanın en iyilerinden olmayı kabul eder ve otoriteler de bu anlaşmadan sonra ekstra CO₂ azaltma önlemi uygulamaktan kaçınırlar. Bu anlaşma, yılda 0.5 PJ veya daha fazla enerji kullanan tüm şirketlere açıktır.

Prensip anlaşması, sanayi tesisleri ve otoriteler arasında 6 Temmuz 1999 tarihinde imzalanmıştır. Prensip anlaşması imzalanmış olduğundan, artık her şirketin sözleşmeye katılması için anlaşma tüm şirketlere açıktır.

Sözleşmeye taraf olmak istemeyen veya yılda 0.5 PJ'den daha az enerji kullanan şirketler için enerji verimliliği konusundaki “geleneksel” uzun vadeli anlaşmaların uygulanmasına devam edilecektir (yukarıya bakınız) [43,44].

11.3. Mevcut mevzuat – Avusturya

Havaya emisyonlar konusu bir tüzük ile yönetilmektedir (Federal Resmi Gazete No. 498/1994); bu tüzük, farklı işlemler, yakıtlar ve ham maddeler için emisyon limit değerlerini içermektedir. Tüzükte ayrıca izleme raporlarının yerel otoritelere ne sıklıkta sunulacağı konusu da belirtilmektedir.

Toplamda toz: 50mg/Nm³

Ondan kaynaklanan katı ve gaz maddeler:

Cd: 0.1 mg/Nm³

As: 0.1 mg/Nm³, kurşun cam istisna olmak üzere: As: 0.5 mg/Nm³

Co, Ni, Se her biri 1.0 mg/Nm³ ancak toplamda As, Cd, Co, Ni, Se 1mg/Nm³

Sb, Pb, Cr, Cu, Mn her biri 5,0 mg/Nm³ , ancak toplam metaller: 5mg/Nm³

SO₂ : 500 mg/Nm³

HCl: 30 mg/Nm³

HF: 5 mg/Nm³

2.5 kg/sa. Veya daha fazla toplu emisyon olması durumunda NO_x:

1500mg/Nm³ rejeneratif ön ısıtması veya seramik reküperatif ön ısıtması bulunan sondan ateşlemeli veya çapraz ateşlemeli cam tankları için

900mg/Nm³ diğer reküperatif ön ısıtması bulunan çapraz ateşlemeli cam tankları için

800mg/Nm³ servis tankları için

500mg/Nm³ diğer eritme teknolojileri için

- Emisyonların izlenmesi, VDI Kuralları ile uyumlu olmalıdır;
- Atık gaz hacmi, önlenemez atık gaz akışı ile sınırlıdır;
- Gaz emisyonları için Uyum İzleme: Üç buçuk saat ortalama değerlerin ortalaması – biri maksimum emisyonlara tekabül eden işletim koşullarında ölçülmüştür; hepsi de düzenli işletme koşullarında ölçülmüştür.
- Zaten izin verilmiş kurulumlar, tüzüğün yayınlanmasından (yürürlüğe girmesinden) itibaren beş yıl içinde uyum sağlamalıdır.

Suya emisyonlar: Emisyon limit değerleri ve izleme yöntemleri, farklı türden cam ürünler ve ilgili işlemlerle ilgili kapsamlı bir tüzük (Federal Resmi Gazete No. 888/1995) ile oluşturulmaktadır.

Genellikle soğutma suları ve işleme suları ayrı devrelerde saklanmaktadır. Soğutma suyu sistemleri, ilave su talebi düşük olan kapalı devrelerde işletilmektedir. İşleme suyu birkaç kez devridaim yapılabilir ve nehre (akarsuya) veya belediye ait su işleme tesislerine boşaltılmadan önce yerinde işlenebilir (yağ separatörü, sedimentasyon). Her iki durum için de farklı emisyon limitleri bulunmaktadır.

Atık Cam (Tüketici Sonrası Hurda Cam)

Avusturya'da atık camın dönüştürülme oranı % 77–79. Bu da 200.000 t atık cam, cam konteynır üretiminde geri dönüştürülmektedir.

- Avusturya’da tüketici sonrası hurda camların tasnifi yerinde yapılmaktadır.

Hurda camın ön ısıtmasının yapılması

Avusturya’daki tesislerde hurda cam için ön ısıtma yapılmamaktadır.

Ancak Almanya ve İsviçre’de hurda cama veya hurda ve yığınlara (karışık ham madde) ön ısıtma yapılan tesisler bulunmaktadır.

Tüketici sonrası hurda cam içindeki atıkla ilgili sorunlar var mıdır?

- Hurda içindeki organik atıklar, eritme işleminde oksijen talebinin artmasına ve havaya organik madde emisyonlarına neden olmaktadır.
- Atık cam içindeki seramik ve taşların ayrıştırılması işlemi, optik yöntemlerle otomatik olarak yapılır. Hurda ile kırılıp eritme tankına getirilen seramik/taş miktarı, bu optik denetleme cihazlarının verimliliğine bağlıdır. Bu da birçok parçanın reddedilmesine neden olmaktadır. Kalite, ton başına içeriye alınan miktar ile belirlenir.

Atık cam içindeki ağır metallerle ilgili sorun var mıdır?

Birkaç istisna dışında, 94/62/EC sayılı Direktifdeki (ambalaj malzemeleri ile ilgili) belirtildiği şekliyle cam konteynır içindeki 250 ppm kurşun limiti karşılanabilir. 30 Haziran 2001 tarihinden itibaren geçerli olacak cam içinde 100 ppm kurşun limiti, şu anda Avusturya cam konteynır üretiminde sağlandığı gibi % 50’nin üzerindeki yüksek geri dönüştürme oranları ile garanti edilemez.

Emisyonlar ve İzleme

Havaya salınan emisyonlar, farklı süreçler, yakıtlar ve ham maddeler için emisyon sınır değerlerini içeren bir içtüzük (498/1994 sayılı Federal Yasal Gazete) ile düzenlenmektedir. Ayrıca, izleme raporlarının ne sıklıkla yerel otoritelere sunulmasını gerektiğini de belirtmektedir.

Avusturya’daki bazı cam imalat tesislerinde, havaya salınan müteakip emisyonların sürekli izlenmesi gerçekleştirilmektedir: toz, NO_x, SO₂, Süreç düzenlenmesi için oksijen de sürekli izlenmektedir.

Ayrıca, aşağıdaki parametrelerin aralıklı izlenmesi yapılmaktadır:
HCl, HF, ağır metaller

Suya salınan emisyonlar: emisyon sınır değerleri ve izleme yöntemleri, farklı cam üretim tipleri ve ilgili süreçleri ele alan kapsamlı bir içtüzük tarafından (888/1995 sayılı Federal Yasal Gazete) belirlenmektedir.

Genellikle soğutma suyu ve işleme suyu ayrı devreler içinde tutulmaktadır. Soğutma suyu sistemleri çok düşük telafi suyu talebi ile kapalı devreler içinde işletilmektedir. İşleme suyu birkaç kez devir daim ettirilebilir ve nehre (akan suya) veya belediyenin bir atık su işleme tesisine boşaltılmadan önce yerinde (yağ ayırıcı, sedimentasyon) işlenmektedir. Her iki durum içinde farklı emisyon sınırları vardır.

Atıklar: filtre tozu, rejeneratör tozu, yağ ayırıcı atıkları, refrakterlerin atıkları

Elektrikli fırınlar

Avusturya’da şu anda elektrikli fırını olan üç tank vardır.

<u>Tankların kapasitesi:</u>	günlük yaklaşık 20- 30 ton kapasitesi olan 2 tank
	günlük yaklaşık 75 ton kapasitesi olan 1 tank

Ürünler: kurşun cam (yerel cam, tablo malzemesi)
cam yünü
otomobil sanayi için özel cam

Cam eritme tankları için elektrikli fırın sağlayıcılar (şirketlerin adı):
Sorg, Grob, Horn

İşletmenler tarafından verilen elektrikli fırın kullanma nedenleri:

- tank geometrisi,
- cam yığınının beslenmesi (soğuk üst/ soğuk başlık),
- oran: elektrik tüketimi /fiyat,
- özel elektrik tüketimi,
- hava emisyonları (NOx emisyonları)

NOx Emisyon Değerleri

Avusturya'daki rejeneratif veya seramik reküperatif at nalı şeklinde ateşlemeli ve çapraz ateşlemeli cam tankları için emisyon sınır değer: 498/1994 sayılı Federal Yasal Gazetede ortaya konulduğu üzere 1500mg/Nm³, (8% O₂):

Yalnızca birincil azaltım önlemlerinin uygulandığı rejeneratif at nalı şeklinde ateşlemeli cam tankları için emisyon değeri: 900 – 1100 mg NOx/Nm³ (aralıklı izleme);

Yalnızca birincil azaltım önlemlerinin uygulandığı rejeneratif at nalı şeklinde ateşlemeli cam tankları için emisyon değeri: 1100 – 1300 mg NOx/Nm³ (kesintisiz izleme);
“aşamalı yakma” uygulayarak NOx emisyonlarını daha fazla azaltmak için bir pilot test işletmen tarafından planlanmaktadır.

Elektrikli fırınlardan kaynaklanan NOx emisyonları: 15 mg/Nm³#)

Bir arıtma unsuru olarak sodyum nitrat kullanan elektrikli fırınlardan kaynaklanan NOx emisyonları:
(kurşun cam): 240 mg/Nm³#)

birkaç (en az üç) yarım saatlik ortalama değer, aralıklı izleme.

11.4. Finlandiya'daki mevzuat ve düzenleme

Finlandiya'da cam imalatına ilişkin tanımlanmış bir düzenleme yoktur.

Çevreye ilişkin izinler vaka bazında incelemelere dayanmaktadır. İzin koşullarını belirlemek için bir başlangıç noktası, coğrafi konum ve yerel çevre şartları gibi yerel koşullardır.

Çevre mevzuatı, birkaç müstakil yasadın oluşmaktadır. Yeni bir Çevre Koruma Yasası şu anda hazırlanma aşamasındadır ve entegre kirlilik önleme ve kontrol ile ilgili Eylül 1996 tarihli 96/61/EC sayılı Konsey Direktifi gereklilikleri uyarınca çevre yasalarını birleştirecektir. Yeni yasa 1.3.2000 itibariyle geçerli olacaktır.

Şu anda entegre yaklaşım iki ayrı izin prosedürü içine dahil edilmektedir: Çevre İzin Prosedürleri Yasası (735/1991) ve Kararı (772/1992) uyarınca çevre izin prosedürü ve Su Yasası (264/1961) ve Kararı (282/1962). uyarınca su boşaltım izin prosedürü.

Şu anda zaten Çevre İzin Prosedürleri Yasası; Hava Kirliliği Kontrol Yasası ve Kararı, Su Yasası ve Kararı, Sağlık Koruma Yasası ve Kararı ve Bitişik Mülkler Yasası izin prosedürlerini birleştirmektedir. Dokümanlar ve emisyonlar dahil izine ilişkin bir uygulama kamusaldır ve projeden etkilenen kişiler ve tesisler bu konuda yorum yapma hakkına sahiptirler.

Çevre izinleri yazılırken HELCOM Tavsiyeleri 14/3, 1993 (Baltık Deniz Alanı Komisyonu, Helsinki Konvansiyonu) kullanılmaktadır. Cam imalatçılarına yönelik bazı izinler HELCOM Tavsiyesi yürürlüğe girmeden önce verilmiştir. Cam sanayi için olan izinlerin çoğu oldukça eskidir ve yeni çevre koruma yasası uyarınca yeniden gözden geçirileceklerdir. İzinlerde kullanılan emisyon sınırları aşağıda verilmektedir:

Cam fırınları

Toz	50 mg/Nm ³
NOx	2.5-4 kg/ton

Maden yününde işlem sonrası süreç

Fenol	0.7 kg/ton
Formaldehit	015 kg/ton
Amonyak	1.5 kg/ton

Tüm çevre izinlerine zorunlu izleme dahil edilmiştir. Genellikle tüm emisyonlara ilişkin düzenli ölçümün her yıl veya üç yılda bir yapılması zorunludur. Ek olarak, tesisler aşağıdakileri yerine getirmekle yükümlüdür:

- insan sağlığına ve çevreye toksik, kalıcı ve biyobirikimli maddelerden gelecek tehlikeyi en aza indirmek
- tehlikeli maddeleri mümkün olduğunca ikame etmek
- atık miktarını en aza indirmek ve atıkları mümkün olduğunca geri dönüştürmek
- eğer mümkünse işlem suyunu yeniden devir daim ettirmek
- emisyon ve atıkların kaydını tutmak
- her yıl yetkili otoriteye emisyon ve atıklar hakkında rapor sunmak.

11.5. Fransız yasal ve düzenleyici çerçeve

Fransız yasal çerçevesi, çevre korunmasına yönelik kayıtlı tesisler konulu yasa olarak adlandırılan 9 Temmuz 1976 yasasına ve bu yasanın iki uygulama kararına dayanmaktadır.

21 Eylül 1977 kararı, bir operasyon izni almak için izlenmesi gereken prosedürleri belirtmektedir.

İkinci karar, izne ihtiyacı olan tesis ve fabrika türlerini ortaya koymaktadır.

Bu sektöre ve faaliyet düzeyine bağlıdır.

Bu metin aynı zamanda alana özel bir iznin (izin verme prosedürü) veya genel bir prosedürün (deklarasyon prosedürü) gerekli olup olmadığını tanımlar.

Bazı faaliyetler göz ardı edilebilecek kadar az çevresel etkileri nedeniyle hiçbir izin gerektirmez.

Alana özel izin bir kamu araştırmasının ardından yerel yetkililer (tesisın yerleşik olduğu bölgenin başkanı) tarafından verilmektedir.

İşletim koşullarını, emisyon sınır değerlerini ve izleme gerekliliklerini tanımlayan izin aşağıdakileri göz önünde bulundurur:

- belirli bir faaliyet veya bir grup sektör için yayınlanan ulusal yönetmelikler,
- tesisin yerel çevre üzerindeki etkisi.

Entegre bir yaklaşımla detaylandırılan alana özel izin tek başına ulusal yönetmeliklerden daha bağlayıcı olabilir.

Cam sanayi için ulusal bir yönetmelik 1993 yılında yayınlanmıştır. 14 Mayıs 1993 tarihli bir iç tüzük, kalsiyum oksit cam için 5 t/gün ve özel camlar için 0.5 t/gün kapasiteden daha fazlasına sahip tesislere uygulanmaktadır. Bu tesislerin de özel bir izne ihtiyacı vardır.

14 Mayıs 1993 tarihli içtüzük Ek 1'e eklenmiştir ve hava kirliliği kontrolüne ilişkin esas gereklilikler aşağıda verilmektedir.

Konsantrasyon (%8 bir oksijen içeriği ile mg/Nm³'lük kuru gazlar) içinde veya üretilen her bir ton cam için kütle olarak (kg/tv) ifade edilen iki emisyon sınır değerinden birine itibar edilmelidir.

Toz (günlük 50 tondan fazla cam üretim kapasitesi için)

- 0.2 kg/tv veya 50 mg/Nm³
- 0.35 kg/tv veya 50 mg/ Nm³ (özel camlar için)

SO_x (SO₂ içinde)

Okside olmamış camlar:

- 1 kg/tv veya 500 mg/ Nm³ (gazlı ateşleme için)
- 3 kg/tv veya 1500 mg/ Nm³ (sıvı yakıt ateşleme için)

Okside olmuş camlar

- 1.5 kg/tv veya 750 mg/ Nm³ (gazlı ateşleme için)
- 3.6 kg/tv veya 1800 mg/ Nm³ (sıvı yakıt ateşleme için)
- 0.5 kg/tv veya 250 mg/ Nm³ (elektrikli fırınlar için)

NO_x (NO₂ içinde):

- Rejeneratif fırınlar:

Son Ateşlemeli Fırınlar

- 3 kg/tv veya 1500 mg/ Nm³ (gazlı ateşleme için)
- 2.6 kg/tv veya 1300 mg/ Nm³ (sıvı yakıt ateşleme için)

Çapraz Ateşlemeli Fırınlar

- 4 kg/tv veya 2000 mg/ Nm³ (gazlı ateşleme için)
- 3 kg/tv veya 1500 mg/ Nm³ (sıvı yakıt ateşleme için)

- Reküperatif fırınlar:

- 2.7 kg/tv veya 900 mg/ Nm³ (gazlı ateşleme için)
- 2.1 kg/tv veya 700 mg/ Nm³ (sıvı yakıt ateşleme için)

- Elektrikli fırınlar:

- 1 kg/tv veya 500 mg/ Nm³

Özel camlar ve nitrat bileşikler ile okside edilmiş camlar için NO_x emisyon sınır değerleri ikiye katlanmaktadır.

Bu emisyon sınır değerlerinin uygulanması aşağıda belirtildiği şekilde programlanmaktadır.

Yeni kurulumlar		Kurulum tarihi
%25 üzerinde kapasite genişlemesi		Genişleme tarihi
%10'un üzerinde emisyon artışı		Emisyon artış tarihi
Eski kurulumlar	SOx	9 Temmuz 1998
	NOx	9 Temmuz 2001
	Toz	9 Temmuz 2003

14 Mayıs 1993 içtüzüğü aynı zamanda ağır metaller, HCl HF ... ve su kirliliği, gürültü... ile ilgili gereklilikler şart koşturmuştur.

Bu metin cam sanayinden kaynaklanan kirliliği önlemek ve kontrol altına almak için entegre bir yaklaşıma sahiptir. Bu içtüzük 1996 yılında değişikliğe uğramıştır.

2004 yılına kadar, eğer bir fırın aşağıdaki NOx emisyon sınır değerlerini göz önünde bulundurursa:

- Rekuperatif fırınlar: 1 kg/tv veya 500 mg/Nm³,
- Rejeneratif fırınlar:
 - Son ateşlemeli fırınlar: 1.5 kg/tv veya 700 mg/ Nm³
 - Çapraz ateşlemeli fırınlar: 2 kg/tv veya 1100 mg/ Nm³

izin verilen toz emisyon sınır değerleri 0.35 kg/tv veya 150 mg/ Nm³ idi.

Atmosferik kirliliğe ilişkin bir vergi bu yasal ve düzenleyici çerçeveyi tamamlamaktadır.

İlk hava kirliliği vergisi, 5 yıllık bir süre için 1985 yılında oluşturuldu. Başlangıçta yalnızca sülfür oksitler ile ilgiliydi. Daha sonra bir kez 1990 yılında ve bir kez de 1995 yılında olmak üzere iki kez değişikliğe uğradı.

Yalnızca bir onay prosedürüne tabi tutulan tesisler vergi kapsamına girmektedir.

Şu anda vergiye tabi olan kaynaklar şunlardır:

- 20 MW'den büyük yakma tesisleri ,
- 3 t/h'den fazla kentsel katı atık fırınları,
- Eşdeğer NO₂, eşdeğer HCl veya metanik olmayan VOC'lar olarak kabul edilen SO₂ (veya SO₂ olarak ifade edilen H₂S), NO_x'in 150 t/yıl'dan fazlasını yayan diğer tür kayıtlı tesisler.

SO₂, H₂S (SO₂ olarak ifade edilen), HCl, NO_x (NO₂ olarak), N₂O ve VOC'lar için mevcut vergi oranı 180 FF/ton'dur. 1 Ocak 1998'den beri NO_x ve VOC'lar için oranlar 250 FF/ton'a yükseltilmiştir.

Vergi geliri yaklaşık 250 MFF/yıl'dır.

Atmosferik kirlilik ile ilgili vergi bir yeniden dağıtım vergisidir..

- Toplanan fonların en az %60'ı önleme veya işleme tesisatının kurulumunu sübvansiyon etmek için kullanılmaktadır.

Yalnızca yukarıdaki kriter kapsamına giren sanayiler bu sübvansiyon için uygun görülmektedir. Bu tesislerin ulusal veya AB ELV sınırlarının altında emisyon düzeylerine ulaşmaları, veya ulusal veya AB ELV sınırları yürürlüğe girmeden önce ciddi değişiklikler gerçekleştirmeleri gerekmektedir. Sübvansiyon oranı tekniklerin yeterliliğine ve yeniliklere bağlıdır.

Toplanan ve atmosferik kirliliğin önlenmesi için yeniden dağıtılmayan olan fonların miktarı (maksimum toplanan paranın %40'ı) aşağıdaki amaçlar doğrultusunda kullanılabilir:

- ölçüm ve azaltım teknikleri alanında uygulamalı araştırma ve geliştirme girişimlerinin desteklenmesi (önleme veya işleme),
- hava kalitesini izleme ağının finanse edilmesi (ekipman ve işletim masrafları),
- emisyon envanteri, gelişim stratejileri,... ile ilgili teknik veya ekonomik çalışmalar yürütmek.

Vergi oranı teşvik etmeye yetecek kadar yüksek değildir (genellikle etkili bir azaltım tekniği kurmak yerine vergiyi ödemek daha az masraflı olmaktadır). Ancak, sağlanan sübvansiyonların oldukça yüksek oranları nedeniyle (özellikle de geçmişte) bu yeniden dağıtılan vergi sistemi, mevcut en iyi teknolojilerin tesisini teşvik eden düzenlemelerin bir tamamlayıcısı olarak, etkin ve esnek bir araç olarak ortaya çıkmaktadır.

11.6. İtalyan mevzuatı

Yürürlükteki mevzuat, mevcut tesisleri ilgilendiren 12 Temmuz 1990 tarihli Çevre Bakanlığı Kararı'na dayanmaktadır.

Pek çok sanayi sektörüne uygulanan genel emisyon sınır değerleri:

Kanserojen maddeler için:

1. sınıf maddeler: normal olarak cam sanayinde mevcut değil.
Eğer kütle akışı ≥ 0.5 g/s ise, emisyon sınırı 0.1 mg/m³'dür.
2. sınıf maddeler: Arsenik, Krom (VI), Kobalt, Nikel, vb.
Eğer kütle akışı ≥ 5 g/s ise, emisyon sınırı 1 mg/m³'dür.
3. sınıf maddeler: normal olarak cam sanayinde mevcut değil.
Eğer kütle akışı > 25 g/s ise, emisyon sınırı 5 mg/m³'dür.

Partikülât formundaki inorganik maddeler için:

1. sınıf maddeler: Kadmiyum, cıva, vb.
Eğer kütle akışı > 1 g/s ise, emisyon sınırı 0.2 mg/m³'dür.
2. sınıf maddeler: Selenyum, vb.
Eğer kütle akışı ≥ 5 g/s ise, emisyon sınırı 1 mg/m³'dür.
3. sınıf maddeler: Antimon, Krom (III), Kurşun Kuartz, Bakır, Kalay, Vanadyum.
Eğer kütle akışı ≥ 25 g/s ise, emisyon sınırı 5 mg/m³'dür.

Gaz formunda inorganik maddeler için

1. sınıf maddeler: normal olarak cam sanayinde mevcut değil.
Eğer kütle akışı > 10 g/s ise, emisyon sınırı 1 mg/m³'dür.
2. sınıf maddeler: Floridler HF gibi, vb.
Eğer kütle akışı > 50 g/s ise, emisyon sınırı 5 mg/m³'dür.
3. sınıf maddeler: Kloridler HCl gibi, vb.
Eğer kütle akışı > 0.3 Kg/s ise, emisyon sınırı 30 mg/m³'dür.
4. sınıf maddeler: Amonyak.
Eğer kütle akışı > 2 Kg/s ise, emisyon sınırı 250 mg/m³'dür.

5. sınıf maddeler: Azot oksitler örneğin NO₂; Sülfür oksitler örneğin SO₂
Eğer kütle akışı > 5 Kg/s ise, emisyon sınırı 500 mg/m³'dür.

Gaz ve partikülât formundaki organik maddeler için

1. sınıf maddeler: metil akrilat, İzosiyanat, vb.
Eğer kütle akışı > 25 g/s ise, emisyon sınırı 5 mg/m³'dür.

2. sınıf maddeler: Fenoller, Formaldehit, vb.
Eğer kütle akışı > 0.1 Kg/s ise, emisyon sınırı 20 mg/m³'dür.

3. sınıf maddeler: Izo butil alkol, vb.
Eğer kütle akışı > 2 Kg/s ise, emisyon sınırı 150 mg/m³'dür.

> 3 Kg/s olan maddeler için, emisyon sınırı 300 mg/m³'dür.

5. sınıf maddeler: Aseton, vb.
Eğer kütle akışı > 4 Kg/s ise, emisyon sınırı 600 mg/m³'dür.

Toz

Eğer kütle akışı > 0.5 Kg/s ise, emisyon sınırı 50 mg/m³'dür.
Eğer kütle akışı > 0.1 Kg/s ve < 0.5 Kg/s ise, emisyon sınırı 150 mg/m³'dür.

Cam üretimi yapan fırınlara uygulanan özel emisyon sınır değerleri

Azot oksitler örneğin NO₂

	Akaryakıt	Doğal gaz
	mg/m ³	mg/m ³
Pota fırınlar	1200	1200
Rekuperatif ısıya sahip kesintisiz tanklar	1200	1400
Günlük tanklar	1600	1600
Rejeneratif fırınlar, son ateşlemeli (U-alev)	1800	2200
Rejeneratif fırınlar, çapraz ateşlemeli	3000	3500

Kalite nedenlerinden ötürü yıgında nitrat kullanımı sınır değerlerin iki katına çıkmasına izin verir.

Sülfür Oksitler örneğin SO₂

Günlük tanklar ve pota fırınlar 1100 mg/m³

Kesintisiz cam tankları 1800 mg/m³

Toplam toz

Eğer çekim > 250 t/gün ise, emisyon sınırı 80 - 100 mg/m³

Eğer çekim < 250 t/gün ve kütle akışı > 0.1 Kg/s ise, emisyon sınırı 150 mg/m³

Cam elyaf için, kesintisiz filaman, borosilikat tüp emisyon sınırı 350 mg/m³'dür.

Değerler, kesintisiz cam tankı için %8 oksijendeki ve aralıklı fırınlar için %13 oksijendeki kuru gaz hacmine atıfta bulunmaktadır.

Not: Emisyon sınır değerleri mevcut tesislere uygulanmaktadır.

Normal olarak, resmi sınırların altında bir emisyon düzeyinde çalışan bir fırının bu değerleri sürdürmesi gerekmektedir. Özel alanlar ve/veya nedenler dolayısıyla daha düşük değerler uygulanabilir.

Yeni tesisler için, bölgesel yetkililer aynı sınır değerlerin kullanılmasına karar verebilir (oldukça nadir), veya normal olarak “mevcut en iyi teknolojilere” dayanarak daha katı sınır değerler uygulanır.

11.7. BELÇİKA’NIN WALLOON BÖLGESİNDEKİ CAM SANAYİNE YÖNELİK STANDART EMİSYON SINIRLARI (GÖNÜLLÜ ANLAŞMA)

		Konteynır ve Düz cam Kapasite ≥ 5 t/gün				Cam elyaf ve özel cam Kapasite ≥ 50 t/gün					
		5 ≤ --- ≤ 50 t/gün		> 50 t/gün		Kapasite ≥ 50 t/gün		0.5 t/gün < Kapasite < 50 t/gün			
DUSTTOZ		5 ≤ --- ≤ 50 t/gün		> 50 t/gün		Kapasite ≥ 50 t/gün		0.5 t/gün < Kapasite < 50 t/gün			
	mg/Nm ³			50		50		5 < ---> 10 t/gün < ---> 50			
	kg/t. erime	1.2 < ----< 0.2		0.2		0.35		14 < ---> 1.1 < ---> 0.35			
SO _x											
Sülfatlar = 0		Akaryakıt	Gaz			Akaryakıt	Gaz		Akaryakıt	Gaz	
	g/Nm ³	1.5	0.5			1.5	0.5		1.5	0.5	
	kg/t. erime	3	1			3	1		3	1	
Sülfatlar > 0		Akaryakıt	Gaz		Elektrik	Akaryakıt	Gaz	Elektrik	Akaryakıt	Gaz	Elektrik
	g/Nm ³	1.8	0.75		0.25	1.8	0.75	0.25	1.8	0.75	0.25
	kg/t. Erime	3.6	1.5		0.5	3.6	1.5	0.5	3.6	1.5	0.5
NO _x		CF	EF	R	E			R			R
Nitratlar = 0		Akaryakıt /Gaz	Akaryakıt /Gaz	Akaryakıt /Gaz				Akaryakıt /Gaz			Akaryakıt /Gaz
(*)	g/Nm ³	1.5/2.0	1.3/1.5	0.7/0.9	0.5			0.7/0.9			0.7/0.9
(*)	Kg/t. Erime	3.0/4.0	2.6/3.0	2.1/2.7	1			2.1/2.7			2.1/2.7
Nitratlar > 0		Akaryakıt /Gaz	Akaryakıt /Gaz	Akaryakıt /Gaz				Akaryakıt /Gaz			Akaryakıt /Gaz
(**)	g/Nm ³	3.0/4.0	2.6/3.0	1.4/1.8	1.0			1.4/1.8			1.4/1.8
(**)	kg/t. Erime	6.0/8.0	5.2/6.0	4.2/5.4	2			4.2/5.4			4.2/5.4
HCl (***)	mg/Nm ³	50 /100				50/100		50/100			
	kg/t. Erime	0.175/0.350				0.175/0.350		0.175/0.350			
HF (***)	mg/Nm ³	5.0/2.0				5.0/20		5.0/20			
	kg/t. erime	0.035/0.14				0.035/0.14		0.035/0.14			
	mg/Nm ³	50				50		50			
NH ₃ (****)		mg/Nm ³		kg/t. Erime		mg/Nm ³		kg/t. Erime		mg/Nm ³	
AGIR METALLER (*****)						0.2		0.0014		0.2	0.0014
Cd						1		0.007		1	0.007
As _{soil} , Co,Ni,Se,Cr ⁶⁺						3		0.021		3	0.021
Sb						5		0.035		5	0.035
As _{gas} , Cr _{tot} , Pb, V											
(Cr ⁶⁺ +Pb+Cd+Sb+Ni+Co+Se+V)		≤ 5		≤ 0.035		≤5		≤ 0.035		≤5	
(Cr _{tot} +Pb+Cd+Sb+Ni+Co+Se+V)											

< --->: Lin. Ara kestirim ; CF= Çapraz ateşlemeli fırınlar; EF=Son ateşlemeli fırınlar (Rejeneratif); R=Birim eritici, pota fırın (Rekuperatif); E=Elektrikli Eriticiler.
Emisyon sınır değerler: %20.8 O₂ 'de (elektrikli eriticiler), %13 O₂ 'de (pota fırınlar) veya %8 O₂ 'de (diğerleri), (mg veya g)/Nm³ veya kg/t erime ile tamamlanır.

(*) Cam Elyaf için değil.

(**) Yalnızca Cam Elyaf için, xxx/yyy'de yyy kullanın.

(***) Cl veya F olmayan / Cl veya F olan ham maddeler.

(****) Denitrifikasyon için.

(*****) > 50 t/gün akaryakıt kullanan, > %80 wt ham madde geri dönüşümü olan, (Toplam elementler) ≤ 10 mg/Nm³ veya 0.07 kg/t.erime ile Konteynır ve Düz Cam

SÖZLÜK

Kısaltmalar			
ac.pol.	Asitle cilalama /asitle cilalanmış	IPPC	Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü
MEİT	Mevcut En İyi Teknikler	IS	Bireysel Kesit
BOD	Biyolojik Oksijen Talebi	NL	Hollanda
COD	Kimyasal Oksijen Talebi	RCF	Refraktör Seramik Elyaf
CPIV	Comité Permanent des Industries du Verre	SCR	Selektif Katalitik Azaltma
CRF	Yakıtlı Kimyasal Azaltma	SNCR	Selektif Katalitik Olmayan Azaltma
CRT	Katot Işın Tüpü	tpd	Günlük ton
CVD	Kimyasal Buhar Birikmesi	TV	Televizyon
EC	Avrupa Komisyonu	UK	Birleşik Krallık
EP	Elektrostatik çöktürücü	ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AB	Avrupa Birliği	VOC	Uçucu Organik Bileşik(ler)
EURIMA	Avrupa İzolasyon İmalatçıları Birliği	WEP	Islak Elektrostatik Çöktürücü

Elementler			
Ag	Gümüş	Li	Lityum
Al	Alüminyum	Mg	Magnezyum
Ar	Argon	Mn	Manganez
As	Arsenik	Mo	Molibden
B	Bor	N	Nitrojen
Ba	Baryum	Na	Sodyum
Be	Berilyum	Ni	Nikel
Bi	Bizmut	O	Oksijen
C	Karbon	P	Fosfor
Ca	Kalsiyum	Pb	Kurşun
Cd	Kadmiyum	Pd	Paladyum
Ce	Seryum	Pt	Platin
Cl	Klor	S	Sülfür
Co	Kobalt	Sb	Antimon
Cr	Krom	Se	Selenyum
Cs	Sezyum	Si	Silikon
Cu	Bakır	Sn	Kalay
F	Flor	Sr	Stronsiyum
Fe	Demir	Ti	Titanyum
H	Hidrojen	V	Vanadyum
Hg	Cıva	W	Tungsten (Volfram)
K	Potasyum	Zn	Çinko
		Zr	Zirkonyum

Belge içinde sıkça kullanılan kimyasal formüller

Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit	MgCO ₃	Magnezyum karbonat
B ₂ O ₃	Bor trioksit,	MgO	Magnezyum oksit, magnezya
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat, kireçtaşı	N ₂	Moleküler nitrojen
CaF ₂	Kalsiyum flüorür, fluorspat	Na ₂ CO ₃	Sodyum karbonat, soda külü
CaO	Kalsiyum oksit, kireç	Na ₂ O	Sodyum monoksit
Ca(OH) ₂	Kalsiyum hidroksit, sönmüş kireç	Na ₂ SO ₄	Sodyum sülfat
CaSO ₄	Kalsiyum sülfat	N ₂ O	Azot oksit
CO	Karbon monoksit	NO	Nitrik oksit
CO ₂	Karbon dioksit	NO ₂	Azot dioksit
Fe ₂ O ₃	Demir oksit, hematit	NO _x	Azot oksitleri (sadece NO ve NO ₂)
HCl	Hidrojen klorür	PbO	Kurşun oksit, sarı kurşun, mürdesenk
HF	Hidrojen flüorür	Pb ₃ O ₄	Kurşun oksit, kırmızı kurşun, minyum, kurşun
H ₂ S	Hidrojen sülfat	SiO ₂	Tetroksit
H ₂ SiF ₆	Hekzaflorosilikatik asit	SO ₂	Silikon dioksit
H ₂ SO ₄	Sülfür asit	SO ₃	Sülfür dioksit
K ₂ CO ₃	Potasyum karbonat, kalya taşı	SO _x	Sülfür trioksit
K ₂ O	Potasyum oksit		Sülfür oksitleri (SO ₂ ve SO ₃)

Birimler

Euro	AB para birimi (AB'ye katılan Üye Devletler)	kWh	Kilovat saat
kPa	Kilo Paskal	J	Jul
°C	Santigrat Derece / Selsiyus	GJ	Giga jul
g	gram	s	saniye
kg	kilogram	hdy	saat
t	metrik ton (1000kg)	t/d	gün
mm	milimetre	t/y	yıl
cm	santimetre		gün başına ton
mm	metre		yıl başına ton
²	metre kare		
m ³	metre küp		
Nm ³	273K'da m ³ , 101.3kPa, kuru		

Önekler

η	nano 10 ⁻⁹	M	mega 10 ⁶
μ	mikro 10 ⁻⁶	G	giga 10 ⁹
mc	mili 10 ⁻³	T	tera 10 ¹²
k	santi 10 ⁻²	P	peta 10 ¹⁵
	kilo 10 ³		

KAYNAKÇA

[96/61/EC]

Entegre kirlilik önleme ve kontrolü konusunda 96/61/EC sayılı Direktif (10/10/96)

[tm1, UKDoE]

Büyük Cam İşlerinde Kirlilik Kontrolü, İngiliz Çevre Bakanlığı, Çevresel Kaynaklar Limitet, Mart 1991, gls/tm/1.

[tm2 3R]

3R İşlemi, Pilkington'dan NOx Kontrolü Teknolojisi, Pilkington şirketi yayınları, Eylül 1994, gls/tm/2.

[tm3 NOxEPA]

Alternatif Kontrol Teknikleri Belgesi – Cam İmalatından Kaynaklanan NOx Emisyonları, Amerika Çevre Koruma Ajansı, Haziran 1994, gls/tm/3.

[tm4 VDI88]

Verein Deutscher Ingenieure Kılavuzu (VDI 2578) Cam İşleri Emisyon Kontrolü, 1988.

[tm5 EEO]

Cam Sanayide Enerji Verimli Çevre Kontrolü, İyi Uygulamalar Kılavuzu 127, İngiliz Enerji Verimliliği Ofisi, 1995, gls/tm/5.

[tm6 NOx Ind.duVerre]

Reduction des Emissions d'Oxydes d'Azote dans L'Industrie du Verre, Comité de Suivi du Verre, Arrêté du 14 Mayıs 1993, Temmuz 1996, gls/tm/6.

[tm7 HMIP]

Asbest dışı mineral elyafları ve Frit İmalatı İşlemlerinden kaynaklanan Emisyonların Kontrolü için Teknik ve Ekonomik Gözden Geçirme, Çevre Ajansı (İngiltere ve Galler), Ağustos 1996, gls/tm/7.

[tm8, S2 3.03]

IPC Kılavuzu S2 3.03, cam elyaf imalatı, diğer asbest dışı mineral elyafları, cam frit, enamel frit ve bunlarla bağlantılı işlemler, Çevre Ajansı, HMSO, Eylül 1996, ISBN 0-11-310121-X, gls/tm/8.

[tm9 MEİTNEEC4.3]

MEİTNEEC Kılavuzu – Cam Üretimi (Taslak), İrlanda Çevre Koruma Ajansı, 1996, gls/tm/9.

[tm10 MEİTNEEC4.2]

MEİTNEEC Kılavuzu – Cam Elyaf veya Mineral Elyaf İmalatı (Taslak), İrlanda Çevre Koruma Ajansı, 1996, gls/tm/10.

[tm11 SOx]

Prévention et traitement des émissions d'oxydes de soufre, Actes du Colloque, Colloque National, 4 et 5 Dé1997, Le Havre, gls/tm/11.

[tm12 desulf]

Les techniques de desulfuration des procedes industriels (Taslak Versiyon) 1998, gls/tm/12.

[tm13 Ademe NOx]

Comment réduire les émissions d'oxydes d'azote d'origine industrielle?, Recueil des conférences des journées techniques organisées à Angers les 25 et 26 septembre 1996, Ademe, gls/tm/13.

[tm14 ETSU]

Cam Sanayi Sektöründe Enerji Teknolojisi (Thermie), ETSU, AEA Çevre ve Enerji, Mart 1992.

[tm15 İtalya]

IPPC 96/61/EC'nin İtalyan Cam Sanayine Uygulanması için Referans Belge, B Scalet, Stazione Sperimentale del Vetro tarafından derlenmiştir, Ocak 1998.

[tm16 USEPA]

EPA Uyum Sektörü Notebook Projesi, Taş, Kum, Cam ve Beton Ürünler Sanayi Profili, ABD Çevre Koruma Ajansı, Eylül 1995, gls/tm/16.

[tm17 Ercole]

Oksi-yanma: Cam Konteynırların Üretiminde Kullanımının Geliştirilmesi Yönündeki Sorun ve Bakış Açıları, P Ercole, Cam Konulu ABD Seramik Derneğinde sunulan makale, San Francisco, Temmuz 1998, gls/tm/17.

[tm18 CPIV]

Avrupa Cam Sanayi için CPIV MEİT Referans Belgesi, Ocak 1998, Comité Permanent des Industries du Verre, gls/tm/18 Ekler dahil

[tm19 5yrsLoNOx]

SORG LoNOx Eriticilerin işletimine ilişkin beş yıllık tecrübeler, Ehrig, Wiegand ve Neubauer, Glastech. Ber. Cam Bilimleri Teknolojisi. 68 (1995) No2, gls/tm/19.

[tm20 SORG]

Optimierung einer großen Glasschmelzwanne durch Primärmaßnahmen, um eine emissionsarme und energiesparende Betriebsweise zu ermöglichen, Niklaus Sorg GmbH & Co, 1997, gls/tm/20.

[tm21, Schott]

Schott Cam Kılavuzu, İkinci Baskı, Ed HG Pfaender, Chapman & Hall, 1996 ISBN 0-412-71960-6. gls/tm/21.

[tm22 BOC]

Cam için Çevre Teknolojileri, Yeşil Cam İmalatı Kılavuzu, Lehman ve Umeza, BOC Gazları, 1996, gls/tm/22.

[tm23 SCRPLM]

Konteynır cam işlerinde SCR deNOx tesisindeki uygulamaya yönelik ilk tecrübeler, Schmalhorst ve Ernas, Glastech. Ber. Cam Bilimleri Teknolojisi 68 (1995) No5, gls/tm/23.

[tm24 FENIX]

Saint-Gobain Vitrage Réduit les Rejets de NOx du Float D'Aniche à près de 500 mg/Nm3 par des Mesures Primaires, Brulin, Delacroix, Laffont ve Tackels, L'Industrie Céramic & Verrière- No938-6-7/98, 1998, gls/tm/24.

[tm25 Özel]

96/61/EC sayılı Direktifin uygulanması için Avrupa Özel Cam Sanayinin Referans Belgesi, Comité Permanent des Industries du Verre, Mayıs 98, gls/tm/25. Ekler dâhil.

[tm26, EURIMA]

EURIMA MEİT izolasyon yünü üretimi hakkında Referans not, Ekim 1998, Avrupa İzolasyon İmalatçıları Birliği, gls/tm/26. Ekler dahil.

[tm27, Yerli]

96/61/EC sayılı Direktifin uygulanması için Avrupa Sofralık Eşya ve Yerli Cam Sanayi Referans Belgesi, Comité Permanent des Industries du Verre (Avrupa Yerli Cam Sektörü), Nisan 98, gls/tm/27. Ekler dahil.

[tm28, EMPA]

Sodyum Silikat Üretimi için Yaşam Evresi Envanterleri, EMPA, Bericht Nr. 241, M Fowler, 1997.

[tm29, Infomil]

Cam ve Mineral Yünü Sanayi için mevcut en iyi teknikler konusunda Hollanda notları, Hollanda Çevre Bakanlığı için Infomil (Hava ve Enerji Müdürlüğü), Aralık 1998.

[tm30 Toz]

Kalsiyum oksit fırınları tarafından salınan tozun düşük çevresel etkisinin incelenmesi, CPIV, 1998, gls/tm/30.

[tm31 69/493/EEC]

Üye Devletlerin kristal cama ilişkin yasalarının uyumlaştırılması konusunda 69/493/EEC sayılı Konsey Direktifi, 1969, Avrupa Topluluğu Resmi Gazetesi, gls/tm/31.

[tm32 Beerkens]

Cam fırınlarından kaynaklanan emisyonların azaltılması teknikleri, performansı, maliyeti ve olası emisyon azaltma teknikleri kombinasyonları, RGC Beerkens, Şubat 1999, gls/tm/32.

[tm33 10NOx]

Cam eritme fırınları üzerinde NOx'in azaltılması için temel önlemler, Sieger, Glastech. Ber. 62 (1989) Nr.5, gls/tm/33.

[tm34 SCRCG]

Konteynır cam fırınları için SCR DeNOx tesisinde elde edilen tecrübeler, Schmalhorst, Ernas ve Jeschke, Glastech. Ber. Cam Bilimleri teknolojileri 70 (1997) No11, gls/tm/34.

[tm35 SNCR]

Rekuperatif bir konteynır cam fırınında nitrojenin katalitik olmayan yollarla atılması, Pabst, Glastech. Ber. Cam Bilimleri Teknolojileri. 67 (1994) No.3, gls/tm/35.

[tm36 FENIXpat.]

Patent yayın numarası WO 98/02386, Bir Cam Fırınında NOx Emisyonunun Azaltılması için Yöntem ve Cihaz, Saint-Gobain Vitrage, 1998, gls/tm/36.

[tm37 3Rpat.]

Patent yayın numarası 0 599 548 A1, Pilkington Cam Limitet, gls/tm/37.

[tm38 3Rpat.b]

Patent yayın numarası 0 599 547 A1, Pilkington Cam Limitet, gls/tm/38.

[tm39 3Rupdate]

Pilkington 3R Teknolojisi: Güncelleme, Shulver ve Quirk, Ceram. Eng. Sci. Proc. 18 [1] (1997), gls/tm/39.

[tm40 ECFIA]

Avrupa'daki RCF İmalatı Tesislerinin Çevresel performansları konusunda ECFIA Bilgi Raporu, Aralık 1998, gls/tm/40.

[tm41 VDI 2578]

Verein Deutscher Ingenieure Kılavuzu (VDI 2578), Cam İşleri Emisyon Kontrolü (DRAFT), Kasım 1997.

[tm42 filtre toz]

Alman Cam Sanayide hurda ve filtre tozunun dönüştürülmesi, Schaeffer, Glastech. Ber. Cam Bilimleri Teknolojileri. 69 (1996) No. 4, gls/tm/42.

[tm43 SORGecon]

Modern rejeneratif sondan ateşlemeli bir fırın ile ikinci nesil Sorg LoNOx Eriticinin ekolojik ve ekonomik özelliklerinin karşılaştırılması, Pieper, Platzer ve Becher, Glastech. Ber. Cam Bilimleri Teknolojileri 68 (1995) No. 7, gls/tm/43.

[tm44 Fritler]

Seramik Dekorasyon Malzemeleri – Ürün Yönetimi Hususları, ANFFECC / CERAMICOLOR / EPSOM / VdMi, 1998, gls/tm/44.

[tm45 Illy]

Oksi-atışlemeli fırınlarda ısı geri kazanımı ve enerji tasarrufu için işlemler: bir teknoloji araştırması, Illy, Borders, Joshi, Zucchelli, Jurcik, Uluslararası Cam Jurnalı (1998) – No 96, gls/tm/45.

[tm46 ANFFECC]

IPPC 96/61/EC sayılı Direktifin Uygulanması için İspanya Frit Sanayi Referans Belgesi, Şubat 1999, gls/tm/46.

[tm47 MEİT Fransa]

EIPPC Bürosuna sunulan mevcut en iyi teknikler referans belgesi, Fransa Çevre Bakanlığı, Şubat 1998, gls/tm/47.

[tm48 ADEME SOx]

Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME, 1999, gls/tm/48.

[tm50 HMIP Frit] Cam ve Enamel Frit Tesislerinde Kirlilik Kontrolü, HMIP, Eylül 1991, gls/tm/50.

[tm51 UBA]

Stand der Technik bei der glasherstellung, Umweltbundesamt – Avusturya, 1999, gls/tm/51.

[tm52 Karlsruhe]

Federal Almanya Cumhuriyetindeki Durağan Kaynaklarda Emisyon Kontrolü, Cilt I +II – NOx, SOx ve ağır metaller, Karlsruhe FGIER Üniversitesi (TH), Ağustos 1996, gls/tm/52.

[tm53 Gaz Yeniden Yakma]

NOx Emisyonlarının Kontrolü için gaz Yeniden Yakma Teknolojisinin Cam Fırınlara Uygulanması, Moyeda Enerji ve Çevre Araştırmaları Şirketi, Irvine Kaliforniya, gls/tm/53.

[tm54 Gaz Yeniden Yakma 2]

Gaz Yeniden Yakma ile Cam Fırınlarda NOx Kontrolü, Koppang ve Moyeda, Enerji ve Çevre Araştırmaları Şirketi, Irvine Kaliforniya, gls/tm/54.

[tm55 Saha Testi]

Gaz Yeniden Yakma ile Cam Fırınlarda NOx Kontrolü, Saha Testi (taslak madde), Koppang, Marquez ve Moyeda, Enerji ve Çevre Araştırmaları Şirketi, Irvine Kaliforniya, gls/tm/55.

[tm56 GazdeFrance]

Le Reburning: un bon moyen de réduction des émissions d'oxyes d'azote dans les fours de fusion de verre, Proje Yeniden Yakma Gazı, Gaz de France, Aralık 1996, gls/tm/56.

[CPIV istatistikler]

Avrupa Komisyonu Ortak Toplantısına sunulan CPIV istatistikleri, Mayıs 1998, Comité Permanent des Industries du Verre.

[EURIMA istatistikler]

Avrupa IPPC Bürosuna sunulan EURIMA İstatistikleri raporu, Mayıs 1998, Avrupa İzolasyon İmalatçıları Birliği

[SORG Flex]

Fleks Eriticiler konusunda SORG Broşürü – “Kesikli Üretim Sürekli Kalite”, Nikolaus SORG GmbH & Co KG.

[SORG LoNOx]

LoNOx Eriticiler konusunda SORG Broşürü, Nikolaus SORG GmbH & Co KG.

[ANFFECC]

İspanya Frit Sanayi için BREF Destek Belgesi (Taslak 1), ANFFECC, Ekim 1998.