

Integrált Szennyezés-megelőzés és Csökkentés (IPPC)

**Referencia dokumentum az elérhető legjobb technikákról –
tömörítvény a hazai sajátosságok figyelembe vételével**

Az üveggyártás

TARTALOMJEGYZÉK

1	A BAT definíciója (IPPC-direktíva, 96/61/EC, 1996. Szept. 24.)	4
2	Az üvegipari technikák és azok környezeti hatásainak ismertetése	5
2.1	Az üveggyártás alapanyagai	5
2.2	Az olvasztás és az alkalmazott kemence-típusok	5
2.3	Az üveggyártás felosztása termékek szerint; az egyes termékek gyártása során fellépő környezetszennyezés.	7
2.3.1	Öblösüveggyártás	7
2.3.2	Síküveg-gyártás	9
2.3.3	Háztartási üvegek gyártása	9
2.3.4	Különleges üvegek gyártása	10
2.3.5	Üvegyapot- és ásványgyapot-gyártás	10
2.3.6	Kerámiaszál gyártása	12
2.3.7	Üvegfritt-gyártás	13
3	Az új technikák bevezetésének lehetőségei az üvegiparban	15
3.1	A kemencekonstrukció és az olvasztási technológia megválasztása	15
3.2	A nyersanyagokkal és a nyersanyag-keverékkel összefüggő technológiák megválasztása	17
3.3	Az olvasztásból származó levegőszennyezés csökkentése	18
3.3.1	A porkibocsátás csökkentésének lehetőségei	18
3.3.2	Az NO _x kibocsátás csökkentésének lehetőségei	24
3.3.3	Az SO _x kibocsátás csökkentésének lehetőségei	35
3.3.4	A fluoridok (HF) és kloridok (HCl) csökkentésének lehetőségei	38
3.3.5	A szén-dioxid (CO ₂) és a szén-monoxid (CO) csökkentésének lehetőségei	38
3.4	A nem olvasztásból származó levegőszennyezés csökkentése	39
3.4.1	Az emisszió-csökkentés lehetőségei az öblösüveggyártásnál	39
3.4.2	Az emisszió-csökkentés lehetőségei a Síküveg-gyártásnál	39
3.4.3	Az emisszió-csökkentés lehetőségei a háztartási és egyéb (különleges) üvegek gyártásánál	39
3.4.4	Az emisszió-csökkentés lehetőségei az üveg- és ásványgyapot gyártásánál	40
3.4.5	Az emisszió-csökkentés lehetőségei a kerámiaszál gyártásánál	44
3.4.6	Az emisszió-csökkentés lehetőségei az üvegfritt-gyártásnál	44
3.5	A vízszennyezés csökkentése	44
3.6	Egyéb hulladékok csökkentése	45

3.7	Az energiafelhasználás csökkentése	45
4	BAT-nak tekinthető technikák az üvegipar egyes területein	48
4.1	Öblösüveggyártás	49
4.2	Síküveg-gyártás	50
4.3	Háztartási üvegek gyártása	51
4.4	Különleges üvegek gyártása	52
4.5	Üveggyapot- és ásványgyapot-gyártás	53
4.6	Kerámiaszál gyártása	56
4.7	Üvegfritt gyártása	56
4.8	Vízszennyezés a gyártások során	57
4.9	Egyéb hulladékok a gyártások során	57
5	Kifejlesztés alatt álló, környezetkímélő üvegipari eljárások	59
5.1	Alacsony NO _x kibocsátású égők	59
5.2	Az oxigéntüzelés továbbfejlesztése	59
5.3	A keverék és cserép előmelegítése	59
5.4	A keverék-összetétel megváltoztatása	59
5.5	Integrált fritt-olvasztás	60
5.6	A füstgáz visszavezetése a lángba	60
5.7	Redox-szabályozás az olvasztásnál	60
5.8	Új kemence-konstrukciók	60
5.8.1	A „SEG” olvasztás	60
5.8.2	Az „AGM” olvasztás	61
5.8.3	Üvegolvasztás plazmával	61

1 A BAT definíciója (IPPC-direktíva, 96/61/EC, 1996. Szept. 24.)

A „legjobb elérhető technikán” értendők azok a hatékony, fejlett eljárások és módszerek, amelyek lehetővé teszik a szennyezés-kibocsátás elkerülését, illetve – amennyiben ez nem lehetséges – a csökkentését, azaz végeredményben – a környezetet mint egységes egészet érő – káros hatások csökkentését.

A „legjobb” kifejezés itt a környezet egészének védelmét célzó eljárások és módszerek lehető legmagasabb hatékonyságára utal.

Az „elérhető” kifejezés az adott technológia olyan mértékű műszaki és gazdasági kivitelezhetőségét és fejlettségét jelenti, amely lehetővé teszi annak ipari bevezethetőségét. A döntés során figyelembe kell venni az eljárás költség és eredmény viszonyait, valamint azt, hogy az adott technológia alkalmazása az EU-n belül történik, vagy sem, azaz hogy összességében ésszerű keretek között lehetséges-e az eljárás bevezetése.

A „technika” kifejezés itt az eljárásban használt technológiát, illetve az üzem munkafolyamatainak, tervezésének, felépítésének, karbantartásának és működésének a jellemzőit jelenti.

Az elérhető legjobb technikák alkalmazását az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás követeli meg, amely a 96/61/EK IPPC közösségi irányelv hazai jogrendbe való átvételét hivatott biztosítani.

A „legjobb elérhető technikák” alkalmazása nem írható elő, hanem csak ajánlás, mert a hatályos jogszabályok és EU követelmények mellett figyelembe kell venni a helyi körülményeket, a környezet állapotát, az iparág fizetőképességét is.

2 Az üvegipari technikák és azok környezeti hatásainak ismertetése

2.1 Az üveggyártás alapanyagai

Az üvegipart a sokféle nyersanyag, fűtőanyag, valamint a termékek igen nagy választéka jellemzi. A nyersanyagok többsége bányászott, természetben előforduló anyag, kisebb részben ipari termék, de szinte kizárólag por alakú anyag. Ezen anyagokat vasúton, vagy közúton szállítják az üveggyárakba, ahol általában silókban tárolják.

A főbb nyersanyagok a következők:

- **Üvegképző anyagok:** kvarchomok, saját ill. idegen üvegcserép
- **Módosító anyagok:** szóda, mészkő dolomit, földpát, nefelin szienit, kálium-karbonát, folyópát, alumínium-oxid, cink-oxid, ólom-oxid, bárium-karbonát, bazalt, nátrium-szulfát, kalcium-szulfát, gipsz, bárium-szulfát, nátrium-nitrát, kálium-nitrát, bórax, colemanit, antimon-oxid, arzén-trioxid, kohósalak.
- **Színező anyagok:** vas-oxid, vas-kromit, kobalt-oxid, szelén, cink-szelenit.

Az üveg kémiai összetétele igen változatos: a termékkel szemben támasztott követelmények, az olvasztási technológia és az alkalmazott fűtőanyag függvénye. A receptúra szerint bemért anyagokat keverőgép keveri össze, ezt a keveréket szállítják az olvasztókemencébe, és megfelelő adagológép juttatja be azt a kemencébe. A nyersanyagok szállítása, tárolása, bemérése, a keverék szállítása és a kemencébe történő beadagolása jelentős porképződéssel jár.

2.2 Az olvasztás és az alkalmazott kemence-típusok

A keverék megolvasztása az üveggyártás leginkább környezetszennyező művelete. Az olvasztási hőmérséklet igen magas, általában 1300-1500 °C tartományba esik. Az olvasztás során bonyolult fizikai és kémiai folyamatok játszódnak le, miközben por és különböző gázok képződnek illetve távoznak a kemencéből. A kemencébe beadagolt keverék először kiszárad, majd a hidrátok, karbonátok, nitrátok és szulfátok bomlanak el, miközben vízgőz, szén-dioxid és kén-dioxid képződik. Ennek következtében a képződő olvadt üveg a beadagolt keverék térfogatának mindössze 35-50 %-a. A megolvadt üveg az olvasztás következő fázisában tisztul (a keletkező gázbuborékok távoznak, az esetleg még olvadatlan részek feltárolódnak ill. megolvadnak) és homogenizálódik. Ezt a tisztulást megfelelő adalékokkal – elsősorban szulfátokkal – gyorsítják. A letisztult, még nagyon meleg üvegolvadékot megfelelően kialakított kemence-részben (kidolgozó- ill. munkakád), majd fűtött csatornában hűtik le a megfelelő kidolgozási hőmérsékletre, amely általában 900-1350 °C.

Az üvegolvasztás nagyon energiaigényes és az energiafelhasználás nagymértékben függ a kemence konstrukciójától. Ezért az olvasztandó üvegnek és a rendelkezésre álló ill. a választott fűtőanyagnak legjobban megfelelő kemence-konstrukció kiválasztása igen fontos, mert ez a környezetszennyezést is alapvetően meghatározza.

Az üvegiparban alkalmazott fűtőanyagok: földgáz, olaj, villamos áram. A lánggal fűtött – **földgáz és olajtüzelésű** – kemencéknél a távozó füstgáz jelentős hőmennyiséget tartalmaz,

ezért hő-visszanyerő berendezéseket alkalmaznak, amelyek két fő típusa a regenerátor és a rekuperátor.

A **regenerátorral üzemelő kemencéknél** az égőket párosával építik egymással szembe (**keresztlángú** kemence) vagy egymás mellé (**U-lángú** kemence). Az égéslevegő és a füstgáz az égőkhez csatlakozó kamrákon felváltva áramlik át. A kamrákba beépített tűzállóanyag-rácsot a füstgáz felmelegíti, majd a tüzelésváltás után ez a felhevült rács előmelegíti az égéslevegőt, így módon hasznosítva a füstgáz hőtartalmát. Regenerátorral működnek általában a nagyméretű, nagyteljesítményű kemencék (öblösüveggyártás ill. síküveg-gyártás). A fűtőanyag fűvókákat az égőnyak alatt, ritkán az oldalán építik be. A tüzelés nem folyamatos, a kamraváltás ideje alatt átmenetileg szünetel.

A **rekuperátorral üzemelő kemencéknél** a tüzelés folyamatos, de a hő-visszanyerés rosszabb hatásfokú, az égéslevegő előmelegítése kisebb mértékű. A rekuperátor készülhet tűzálló anyagból (keramikus rekuperátor), vagy hőálló acélból. A rekuperátoros kemence fajlagos olvasztási teljesítménye kisebb mint a regenerátorosé, ezt újabban villamos pótfűtéssel kompenzálják. Környezetvédelmi szempontból a kisebb mértékű levegő-előmelegítés – és ennek következtében az alacsonyabb lánghőmérséklet – kedvezőbb.

A regenerátorral vagy rekuperátorral üzemelő kemencék élettartama általában 7-12 év.

Az **oxigéntüzelésű kemencében** a fűtőanyagot levegő helyett oxigénnel égetik el, így nitrogén gyakorlatilag nem kerül a kemencébe. A keletkező füstgáz mennyisége a levegővel történő tüzelésnél keletkező mennyiségnek csupán 1/3-a. Mivel nem kell nagymennyiségű nitrogént a láng hőmérsékletéig felmelegíteni, energia takarítható meg. A kevesebb füstgáz kevesebb port visz magával a kemencéből. Az oxigéntüzelés az üvegiparban folyamatosan terjed, elsősorban környezetkímélő hatásának köszönhetően.

A **villamos üvegolvasztásnál** az áram az üvegolvadékon áramlik át és a kemencét az olvadékban keletkező Joule-hő fűti. Az elektródák a kemence oldalán vagy az alján keresztül nyúlnak be az üvegolvadékba, de alkalmaznak felülről benyúló elektródát is. Mivel az üvegkeverék nem vezeti a villamos áramot, indításkor a kemencét lángtüzeléssel kell teleolvasztani, amíg az olvadt üveg az elektródákat el nem lepi. Az üvegkeverék a teljes üvegfelületet befedi, és alulról felfelé olvad meg. A keveréket a fedőréteg tetejére adagolják oly módon, hogy az egyenletesen oszoljon el. E mechanikus művelet általában nagy porzást okoz, ezért zsákos porszűrőket alkalmaznak és a leválasztott port visszaadagolják a kemencébe. A villamos fűtésű kemencék élettartama általában rövidebb, mindössze 3-7 év. A villamos kemencéket elsősorban különleges üvegek olvasztására alkalmazzák.

A **kombinált, villamos / láng fűtésű** olvasztókemencéknél két megoldást alkalmaznak: elsősorban lángtüzelésű kemence (olaj vagy gáz) villamos pótfűtéssel, vagy elsősorban villamos fűtéssel és kiegészítő láng-tüzeléssel működő kemencék. A villamos pótfűtés elsősorban változó terhelésnél alkalmazható, a teljesítmény átmeneti növelésekor. Ugyancsak előnyösen növelhető meg villamos pótfűtéssel a kemence-periódus végén csökkenő olvasztási teljesítmény. A pótfűtés elektródái üzem közben is felszerelhetők a kemencére. A bevezetett villamos energia az összes energia 5-20 %-a. Elsősorban színes (zöld és barna) üvegeket olvasztanak ezzel a módszerrel.

Kevésbé gyakori a főleg villamos fűtésű kemence lángtüzeléssel való pótfűtése, amellyel a rossz hővezető keverék felmelegedését és olvadását gyorsítják meg. A lángot a keverékre irányítják, aminek következtében viszont a teljesen villamos fűtésű kemence környezetkímélő előnyei (keverékkel teljesen fedett üvegolvadék) jelentősen romlanak.

A **szakaszos olvasztású kemencék** (fazekas kemence: 100-500 kg/24h, nappali kád-kemence: < 10t/24 h) általában kis teljesítményűek, ezért a környezetvédelem szempontjából

jelentőségük csekély. Működésük a következő: délután adagolják be a keveréket, majd a hőmérsékletet a kívánt 1300-1600 °C-ra növelik, a tisztulás végén pedig a kidolgozáshoz szükséges 900-1200 °C-ra csökkentik. A kész üveglvadékat délelőtt kidolgozzák, és a ciklus kezdődik előlről.

2.3 **Az üvegyártás felosztása termékek szerint; az egyes termékek gyártása során fellépő környezetszennyezés.**

2.3.1 **Öblösüvegyártás**

Az öblösüvegyártás az üvegyipar legjelentősebb területe. A leggyakoribb előállított termékek: élelmiszeripari csomagolóüvegek (szörpös, boros, sörös palackok, konzerves üvegek), gyógyszeres üvegek stb. A legtöbb üveg egyszerű, vagy módosított mészkalk-alkáli üveg, illetve, az igényeknek megfelelően, nagy vegyi ellenállású (gyógyszeres üveg), vagy egyéb különleges tulajdonságokkal rendelkező üveg.

Az öblösüvegyártásnál alkalmazott kemencék teljesítménye elérheti a napi 1000 tonnát is. Az alkalmazott kemence-típusok: keresztlángú, vagy U-lángú regeneratív kemence, rekuperátoros kemence, oxigéntüzelésű, ill. villamos fűtésű kemence.

A kemencében olvasztott üveg hőmérsékletét egy fűtött csatornában csökkentik a kívánt értékre, majd egy alkalmas szerkezet üvegseppeket képez, amelyek az üvegformázó gépbe esnek bele. Az öblösüveget gyártó gép két lépésben – fűvő-fűvő, vagy prés-fűvő eljárással – készíti el az üveget, A fűvő fűvő sűrített levegővel történik.

A gyártó gépből kikerülő forró üveg hőmérsékletét alagút-rendszerű hűtőkemencében csökkentik a csomagolást lehetővé tevő hőmérsékletre. Az üveg felületét ennek a hűtőkemencének a meleg ill. hideg oldalán lehet megfelelő vegyszerekkel kezelni.

Az olvasztáshoz saját és idegen (újra felhasznált) cserepet alkalmaznak, 10-80 % arányban. A felületkezelő és kenőanyag-felhasználás az üveg-nyersanyagokhoz képest kis mértékű. Az alkalmazott fűtőanyagok: földgáz, fűtőolaj, villamos áram, ill. ezek kombinációja. Vizet a keverék nedvesítéséhez, valamint hűtési célokra használnak.

A gyártás során számottevő **levegőszennyezéssel** lehet számolni. A por-anyagok tárolására, keverésére, szállítására szolgáló berendezések porelszívással és szűréssel működnek. A por-emisszió általában kevesebb mint 5 mg/m³. A levegőt elsősorban az olvasztás szennyezi. A nagy hőmérséklet miatt, gáz és olaj tüzelésnél jelentős az NO_x képződés. Az emisszió elérheti a 2000 mg/Nm³ értéket. Az SO_x emisszió a fűtőanyagból, a nyersanyagokból ill. a cserépből származik. A kemencéből a füstgázokkal a környezetbe jutó por mennyisége függ a kemence konstrukciójától, az alkalmazott nyersanyagok granulometriájától, és boroszilikát üvegeknél ez meghaladhatja a 400 mg/Nm³ értéket. A HCl emisszió iparilag előállított szoda alkalmazása esetén eléri az 50 mg/Nm³ értéket. Jelentős lehet továbbá a fluorid (szennyezett nyersanyag), valamint a fém-emisszió (fűtőolaj vanádium-tartalma, szelén stb.) Az öblösüveg-olvasztó kemencék levegőszennyezéséről ad tájékoztatást a következő táblázat:

Öblösüveg-olvasztó kemencék				
Emisszió	Másodlagos csökkentés nélkül, elsődleges csökkentéssel v. anélkül		Másodlagos csökkentéssel	
	mg/Nm ³	kg/tonna üveg	mg/Nm ³	kg/tonna üveg
NO _x (NO ₂ – ben)	400 - 5000	0,6 – 11,7	< 400	<0,74
SO _x (SO ₂ – ben)	100 - 4500	0,2 – 9,8	100 -1637	0,2 – 3,4
Por	40 - 800	0,1 – 1,9	1 - 32	0,002 – 0,22
Kloridok (HCl)	5 - 62	0,01 – 0,12	7 - 30	0,01 – 0,07
Fluoridok (HF)	1 - 70	< 0,16	< 1 - 6	< 0,02
Fémek	< 1-16	< 0.017	< 1-3	< 0,003
Cseréparány	5 95 %			
Teljesítmény	25 – 600 t/24h			
Fajlagos energia felhasználás (pót-fűtéssel együtt)	3,2 –12,2 GJ/t üveg			

Az olvasztás utáni műveletek (felületkezelés, kenés) szennyező hatása:

- HCl 30-95 mg/m³
- ón (szilárd) 0,006-10 mg/m³
- ón (gáz állapotban) 0,4-15 mg/m³

Környezetvédelmi szempontból a fémeket 2 csoportba osztják, a következők szerint:

Az 1. Csoportba tartozó fémek és vegyületeik	A 2. csoportba tartozó fémek és vegyületeik
Arzén	Antimon
Kobalt	Ólom
Nikkel	Króm III
Szelén	Réz
Króm VI	Mangán
	Vanádium
	Ón

Az öblösüveggyártásnál felhasznált víz csak kis mértékben szennyeződik: kenőanyag (olaj), a fritteléshez használt hűtővíz az üvegből vegyi anyagokat oldhat ki, illetve apró üvegszemcséket tartalmazhat. Általában egyszerű ülepítővel ez a víz tisztítható.

Az **gyártás során keletkező hulladékok** /üvegcserep, nem megfelelő minőségű késztermék, leválasztott por) újra felhasználhatók. Az alkalmazott csomagolóanyagok vagy újra felhasználhatók, vagy a hagyományos hulladékgyűjtéssel kezelhetők (papír, fa stb.). A kemenceátépítések során jelentős mennyiségű bontott tűzállóanyag keletkezik (500-2000 t). Ezek az anyagok szintén újra hasznosíthatók, vagy egyszerű hulladékként tárolhatók. Csúpan néhány tűzállóanyag (magnezit, króm-magnezit, ill. króm tartalmú kádkövek) igényel fokozott figyelmet és különleges tárolást, a magas hőmérséklet hatására kialakuló Cr⁶⁺ miatt.

Törölt: -

2.3.2 Síküveg-gyártás

Síküveget elsősorban az építészetben és a járműiparban alkalmaznak. A síküvegek kémiai összetétele messze nem olyan változatos, mint az öblösüvegeké. Síküveget ma már általában u.n. „float” eljárással gyártanak, amely eljárásnak a lényege a következő: az üvegolvadék olvadt fém (ón) felületén úszva kerül szét, és onnan húzza ki egy megfelelő berendezés az üvegszalagot. Az olvasztás nagy méretű, keresztlángú, regeneratív kemencében történik, földgáz-, olaj-, oxigén-tüzeléssel, egyes esetekben villamos pótfűtéssel.

Az olvasztáshoz a gyári saját, ill. a feldolgozásból visszakérülő cserepet használják, de a cserep-arány kicsi. A kész üvegszalagot gyakran felület kezelik.

A por-anyagok tárolása, szállítása, keverése itt is poreszívás mellett történik. A por-emisszió kisebb, mint 5 mg/m³. A **síküveg-olvasztás levegőszennyezését** mutatja a következő táblázat:

	Síküveg-olvasztó kemencék			
	Csökkentés nélkül		Elsődleges vagy másodlagos csökkentéssel	
Emisszió	mg/Nm ³	kg/tonna üveg	mg/Nm ³	kg/tonna üveg
NO _x (NO ₂ – ben)	1800 - 2870	1,7 – 7,4	495 - 1250	1,1 –2,9
SO _x (SO ₂ – ben)	365 - 3295	1,0 – 10,6	218 - 1691	0,54 – 4,0
Por	99 - 280	0,2 – 0,6	5,0 - 40	0,02 – 0,1
Kloridok (HCl)	7,0 - 85	0,006 – 0,22	4,0 - 30	<0,01 – 0,08
Fluoridok (HF)	<1,0 – 25	< 0,002 – 0,07	< 1,0 – 4,0	< 0,002 – 0,01
Fémek	< 1,0 –5,0	< 0.001 – 0,015	< 1,0	< 0,001

A síküveg-gyártásban a vízszennyezés (hűtővíz, keverék-nedvesítés, tisztítás) nem jelentős. Egyéb hulladékként a kemence bontási anyagai említendők, melyek azonosak az előző fejezetben (öblösüveg) leírtakkal.

2.3.3 Háztartási üvegek gyártása

A háztartási üvegek kémiai összetétele igen változatos (kristály-, opál-, boroszilikát-üveg, vitrokerámia stb.), ennek következtében igen változatosak és sokfélék a felhasznált nyersanyagok is. Az olvasztáshoz többféle kemence-típust és fűtőanyagot alkalmaznak.

Az olvasztás és formázás után jelentős feldolgozási műveletek következnek: vágás, csiszolás, dekor-festés, rogyasztás, homokfúvás, savpolírozás stb. A háztartási üvegek gyártása során **levegőbe jutó szennyező anyagokat** tartalmazza a következő táblázat:

	Háztartási üveget olvasztó kemencék			
	Mészalkáli üveg		Ólomkristály üveg	
Emisszió	mg/Nm ³	kg/tonna üveg	mg/Nm ³	kg/tonna üveg
NO _x (NO ₂ – ben)	140 - 5500	0,9 - 11	1000 - 2000	0,9 – 5,0
SO _x (SO ₂ – ben)	50 - 1000	0,1 – 2,8	218 - 1691	0,1 – 1,0
Por	0,5 - 400	0,001 – 0,8	2 - 10	0,001 – 0,1
Kloridok (HCl)	<10		0,5 – 5,0	0,001 – 0,003
Fluoridok (HF)	<5		0,1 – 1,0	0,0002 – 0,004
Fémek (ólommal együtt)	< 5		0,05 – 0,5	0,0001 – 0,035

Különös figyelmet érdemel az ólom-kristályüveg és a boroszilikát-üveg. A vízfelhasználás jelentősebb ennél a két termékcsoportnál (csiszolás, polírozás, savfényezés). És a szennyezés is nagyobb. Ezért az általános üvegipari **szennyvíztisztítás**nál alaposabb tisztításra van szükség, és az ólom-tartalmú iszap (kristályüveg csiszolása) megfelelő kezelését, tárolását biztosítani kell.

Az **egyéb szennyező anyagok** a következők: csomagolóanyagok (műanyag, papír, karton, fa), formakenő-anyagok, gépkenő-anyagok.

2.3.4 Különleges üvegek gyártása

A különleges üvegek nagyon változatos kémiai összetétellel és tulajdonságokkal rendelkező üvegek. Az olvasztásra használt kemencék teljesítménye általában kisebb, mint a napi 20 tonna határérték, ezért a környezetvédelmi jelentősége nem nagy Magyarországon.

2.3.5 Üveggyapot- és ásványgyapot-gyártás

Üveggyapotnál, a késztermék a felhasznált nyersanyagok 75-95 %-a, ásványgyapotnál pedig 55-85 %-a. A veszteség szilárd anyagként jelenik meg, illetve a levegőbe és a vízbe távozik.

Az üveggyapotnál felhasznált nyersanyagok: kvarchomok, saját és külső üvegcserep, nefelin, szienit, szóda, káli-szóda, mészkő, dolomit, nátrium-szulfát, bórax, kolemanit. Az ásványgyapotnál felhasznált nyersanyagok: bazalt, mészkő, dolomit, kvarchomok, nátrium-szulfát, technológiai hulladék, egyéb technológiák hulladékai (pl. öntőforma-homok).

A felhasznált kötőanyagok a következők: fenol-formaldehid gyanta oldat, fenol, formaldehid, ammónia, karbamid, ásványolaj, szilikon, szilán, víz.

Az alkalmazott fűtőanyagok: földgáz, villamos áram, koks (ásványgyapotnál), fűtőolaj, propán-bután gáz. A vízszükségleteket a helyi természetes vízforrások (forrás, folyó, tó), és a vezetékes víz fedezi.

Egyéb anyagként a következők fordulnak elő: csomagolóanyagok (műanyag, papír, karton, fa), kenőanyagok (ásványolaj származékok), technológiai gázok, nitrogén és oxigén, vízkezelésre szolgáló vegyszerek.

Az üveg- és ásványgyapot gyártásánál három helyről jut **szennyezőanyag a levegőbe**: a nyersanyagok tárolásából és kezeléséből, az olvasztásból, valamint az olvasztás utáni műveletekből (szálképzés, kötőanyag-felhordás, a kötőanyag hőkezelése, hűtés, méretre vágás, csomagolás). A levegőbe jutó anyagok közül a legnehezebben kezelhető a kötőanyagból a hőkezelés során keletkező szag. A nyersanyagok szállítása, tárolása és kezelése során keletkező por, zárt tároló siló, porelszívás és megfelelő szűrő alkalmazásával csökkenthető (az emisszió kisebb, mint 5 mg/m^3). Az üveggyapot keverékét általában szárazon, pneumatikusan juttatják el a kemencébe, eközben jelentős a porképződés. Az ásványgyapot nyersanyagai darabos anyagok ($< 50 \text{ mm}$), a szabadban tárolás ill. rakodás közben azonban por keletkezik, különösen száraz időben.

Az üveggyapot gyártásánál gáz / levegő tüzelésű (villamos pótfűtéssel ellátott), villamos fűtésű, valamint oxigén tüzelésű kemencéket használnak. Az ásványgyapot-gyártást általában koksztüzelésű kúpoló kemencében végzik. A kúpoló kemencében erősen redukáló atmoszférában történik az olvasztás, következésképpen kevés NO_x képződik, a kén pedig kénhidrogénné alakul át. Jelentős a szén-monoxid koncentráció ill. emisszió. A kúpoló kemence után utóégetőt alkalmaznak, amelyben a kénhidrogén kén-dioxiddá, a szén-monoxid pedig szén-dioxiddá oxidálódik. A kokszt és a kőzet-alapanyagok több fémot, kloridot és fluoridot tartalmaznak, mint az üveggyapot gyártásánál alkalmazott fűtő-, ill. alapanyagok. Ha a kötőanyagot is tartalmazó hulladékot újra olvasztják, a kemencébe szerves anyagok jutnak be, amelyeknek az oxidálását biztosítani kell (pl. kálium-nitrát adagolásával). A kúpoló kemencében a szerves anyag nem okoz problémát, a brikett formájában visszaadagolt hulladékkal azonban kén jut a kemencébe.

A szálképzés után a laza szálakat szerves kötőanyaggal kötik egymáshoz, amely a hőkezelés során köt meg. A kötőanyagot a szálképzés helyén fűjják be; az innen elszívott gáz szilárd szemcséket, folyadék cseppeket (fenol, formaldehid), valamint ammóniát tartalmaz. Az aeroszol szerves és szervesetlen anyagokat egyaránt tartalmaz. A hőkezelő kemencéből távozó gáz a kötőanyag illó komponenseit és bomlástermékeit, vízgőzt, és az égők égéstermékeit tartalmazza.

A hőkezelés után a terméket nagy mennyiségű hideg levegővel hűtik le. A távozó hűtő-levegő szál-töredékeket és szerves anyagokat tartalmaz. A termék méretre vágása, kezelése és csomagolása során por képződik, amelynek elszívásáról és kiszűréséről gondoskodni kell. A termék minőségétől függ a felhasznált kötőanyag mennyisége. Természetesen a nagyobb mennyiségű kötőanyag megnöveli a nyersanyag emissziót (tömör, szilárd termékek).

Az üveg- és ásványgyapot gyártásához jelentős mennyiségű víz szükséges, amelyet általában zárt körben keringetnek. Egyes esetekben azonban a felmelegedett tiszta hűtővizet a szennyvízcsatornába, vagy a természetes vizekbe (patak, folyó, tó) vezetik be. A kis mennyiségű kötőanyaggal és olajjal **szennyezett vizet** vagy a szennyvízcsatornába, vagy tisztítóműbe vezetik. Ha nedves gáz-tisztítót üzemeltetnek, az abból jövő víz nem engedhető közvetlenül sem a szennyvízcsatornába, sem a természetes felszíni vizekbe.

Az **egyéb szilárd hulladékok** a következők:

- kiszóródó nyersanyagok
- a szálazó gép leállásakor keletkező üvegfritt
- a szálazó gép leállásakor frittelt olvadék (ásványgyapot)

- a porleválasztóban összegyűlő por
- ásványgyapotnál képződő, szálló, nem vagy csak alig átalakult anyag
- a késztermék méretre vágásánál keletkező szélek
- a termékváltáskor keletkező átmeneti termék, illetve a minőségi előírásoknak meg nem felelő termék
- az ásványgyapot-porszűrő betétek nagy, akár 50 % szervesanyag-tartalommal
- a kúpoló kemencéből csapolt olvadék és vas
- a kúpoló kemence leállításakor keletkező félig megolvadt kőzet
- a technológiai vízből kiszűrt iszap (szálas anyag, kötőanyag, víz)
- a kemence átépítésénél kibontott tűzállóanyag (törmelék)

Az üveggyapot gyártásához elsősorban földgázt és villamos áramot, ritkábban fűtőolajat használnak. Az ásványgyapot nyersanyagait főleg koksszal fűtött kúpoló kemencében, ritkábban gáz-, vagy villamos-fűtésű kemencében olvasztják meg. Az olvasztásra, a szálképzésre, a hőkezelésre **felhasznált energia** a következők szerint oszlik meg:

	Üveggyapot	Ásványgyapot
Összes energia-felhasználás (GJ/tonna termék)	11-22	7-18
Olvasztás, az összes energia %-ában	20-45	30-70
Szálképzés, az összes energia %-ában	25-35	25-35
Hőkezelés, szárítás, az összes energia %-ában	25-35	25-35
Egyéb energia-felhasználás %	6-10	6-10

2.3.6 Kerámiaszál gyártása

A kerámiaszál gyártásánál felhasznált alapanyagoknak 90 %-ából lesz olvadék, és az olvadék 55-85 %-át képezi a késztermék. A kerámiaszál két fő terméke: a nagy tisztaságú alumínium-szilikát-szál, és a cirkon-alumínium-szilikát-szál. A termékeket természetes eredetű (általában kezelt), és ipari nyersanyagokból állítják elő. Az olvasztáshoz felhasznált anyagok a következők: alumínium-oxid, kalcium-oxid, magnézium-oxid, kvarc és cirkon-oxid. Kis mennyiségben: Na₂O, K₂O, TiO₂, Fe₂O₃ és króm-oxid. A feldolgozásnál, a szálak vákuumformázásához használt anyagok: keményítő, latex, kvarc, és agyag kolloid keveréke, ritkábban szerves polimerek és gyanták.

A gyártás során előforduló egyéb anyagok: műanyag, papír, karton, fa, ásványolaj-származékok (általános felhasználás és a szál felület-kezelése), valamint a vízkezelő vegyszerek (hűtővíz- és szennyvíz-kezelés).

A fűtőanyag: villamos áram, földgáz, ritkábban fűtőolaj. Az olvasztást kizárólag villamos árammal végzik, földgázt az olvasztás utáni műveletekhez használnak (szálképzés, szárítás).

A nyersanyagokat porelszívással és szűrővel felszerelt zárt silókban tárolják, a levegőbe jutó **porszennyezés** kevesebb, mint 5 mg/m³. Az olvasztás során gázok nem, por is csak kevés jut a környezetbe. A por nagyon tiszta oxidokat tartalmaz, és általában zsákos porszűrővel választják le. Az emisszió nem éri el a 20 mg/m³ értéket. Az olvasztás utáni műveleteknél (szálképzés, nemezelés, tűzés, méretre vágás, csomagolás, vákuum-formázás stb.) por és száldarabok jutnak a levegőbe, amelyeket hatékony elszívással és zsákos szűrővel lehet

leválasztani. A por-emisszió itt is kevesebb, mint 20 mg/m^3 , a szál-emisszió pedig $1-5 \text{ mg/m}^3$. Az esetleges szervesanyag-kibocsátás 50 mg/m^3 -nél kevesebb. A porszűrőben összegyűlt port az esetleges szennyezés miatt nem, vagy csak kezelés után lehet az olvasztó kemencébe visszaadagolni.

Vizet elsősorban hűtésre, és a vákuum-formázáshoz használnak, az esetek többségében zárt rendszerben. A **vízszennyezés** nem jelentős, a más iparágakban szokásos tisztítási módszerek itt is alkalmazhatók (ülepítés, olajleválasztás, szűrés, vegyszeres kezelés).

Szilárd hulladék (keverék, szállá nem formázott anyag, levágott szélek) csak kis mennyiségben keletkezik, de elhelyezése így is költséges, ezért új megoldásokat keresnek az újra hasznosításhoz.

A kerámiaszál gyártásához – a magas olvasztási hőmérséklet miatt – sok energiára van szükség. Az olvasztás energia-igénye: $6,5-16,5 \text{ GJ/tonna}$ olvadék, a feldolgozás energia-igénye pedig $3,5-9,5 \text{ GJ/tonna}$ késztermék

2.3.7 Üvegfritt-gyártás

Az üvegfritt-gyártásnál az olvasztó kemencébe beadagolt keverék 75-80 %-a alakul át késztermékké. A gyártás során a veszteséget elsősorban az olvasztás során távozó széndioxid, valamint a frittelő vízből ki nem szűrhető por jelenti. A porleválasztásban összegyűlő por mennyisége jelentéktelen. A vízben frittelt olvadék mellett cserép gyakorlatilag nem keletkezik.

A fritt gyártásánál a következő anyagokat használják:

A fritt típusa	Nyersanyag	Részarány a keverékben (%)
kerámia /üveg-fritt	cirkon vegyületek	7,7
	földpát	26,8
	kvarc	25,9
	bór-sav	6,8
	zink-oxid	8,4
	dolomit	8,4
	kalcium-karbonát	13,4
	kálium-nitrát	2,6
zománc-fritt	bórax	19,1
	kvarc	42,0
	nátrium-nitrát	7,8
	nátrium-fluor-szilikát	1,2
	kálium-fluor-szilikát	7,8
	nátrium-foszfát	3,2
	titán-oxid	18,9

	alacsony olvadáspontú Pb ₃ O ₄	50,0
(forrasz-üveg) fritt	kvarc	19,8
	cink-oxid	15,1
	bór-sav	15,1

A fritt-gyártásnál vizet az olvadék frittelésére, továbbá az így előállított szemcsék nedves őrlésére használnak, általában zárt rendszerben. A párolgásból, az elfolyásból, ill. a nedves őrlés után az anyaggal távozó víz pótlásából összeadódó vízigény: 0,5-1,5 m³/tonna fritt.

Az olvasztás elsősorban földgázzal, ritkábban fűtőolajjal történik. Számos olvasztókemencét üzemeltetnek oxigén-tüzeléssel.

A nyersanyagokat porelszívással és szűrővel felszerelt silókban tárolva 5 mg/m³-nél kisebb por-emisszió biztosítható. A porzás csökkentésére különösen nagy gondot kell fordítani, ha a keverék ólmot, vagy egyéb nehéz-fémet, vagy mérgező anyagot tartalmaz (alacsony olvadáspontú fritteknél).

Az olvasztásnál **a levegőbe jutó szennyező anyagok** koncentrációja a következő:

Szennyező anyag	koncentráció (mg/m ³)	emisszió (kg/tonna olvadék)
por	5- 850	0,1- 9,0
nitrogén-oxid (NO ₂ -ben kifejezve)	290-2000	0,4-16,0
kén-oxid (SO ₂ -ben)	< 50-4000	0,4-32,0
kloridok (HCl-ben kifejezve)	0,1- 20	< 0,01-0,16
fluoridok (HF-ben kifejezve)	0,1-100	< 0,01-0,8
fémek	< 1,0- 25	< 0.01-0,2

Az olvasztás utáni műveletek során kevés szennyezés jut a környező levegőbe. Kivételt képez a száraz őrlés, ahol jelentős a porképződés, a porelszívást és a por kiszűrését biztosítani kell.

A frittelésre és nedves őrlésre szolgáló **víz** zárt rendszerben kering a hűtővizet lehűtve, az őrlésnél használt vizet pedig szűrve vezetik vissza a gyártási folyamatba. A vízbe esetlegesen bejutó nehéz-fémek az üvegben kötött állapotban vannak, szűréssel eltávolíthatók, így nem jelentenek veszélyt. A vízből kiszűrt anyag mennyisége az előállított termék 0,5-3 %-a, és az összetétel ingadozása miatt általában nem használják fel újra. Mind a nyersanyagokat, mind a kész frittet általában ömlesztve szállítják, így kevés a csomagolóanyag-hulladék.

Szilárd hulladékot képez természetesen az olvasztó kemencék átépítéskor keletkező bontott tűzállóanyag, amely csak részben hasznosítható újra.

A fritt-gyártás átlagos energia-felhasználása 13 GJ/tonna fritt. Oxigén-tüzelés alkalmazásával – a tapasztalatok szerint – 50 %-os energia-megtakarítás is elérhető a fritt olvasztásánál

3 Az új technikák bevezetésének lehetőségei az üvegyiparban

Ebben a fejezetben azok az emisszió-csökkentő technikák szerepelnek, amelyek a legjobb elérhető álló technikának („BAT”-nak) tekinthetők. Megkülönböztetünk elsődleges és másodlagos technikákat; elsődlegesnek tekintik azokat az eljárásokat, amelyek megelőzik illetve csökkentik a környezetet szennyező anyagok képződését, a másodlagos módszereknél a már képződött szennyezéseket szűrik és gyűjtik össze, illetve semlegesítik.

Az új technikák illetve berendezések a kemence működése közben vagy annak átépítésein alkalmazhatók illetve építhetők be. Az üzem közbeni bevezetés nagy kockázattal és termelés kieséssel jár, ezért az új berendezéseket általában a kemence átépítésein építik be. Ily módon a kemence élettartama – ami jelenleg átlagosan 7-10 év – alapvetően meghatározza a BAT-technikák bevezetését.

3.1 A kemencekonstrukció és az olvasztási technológia megválasztása

Tekintettel arra, hogy az üvegyipar környezetszennyezése döntően az olvasztásból származik, a kemence konstrukció, a fűtőanyag, a tüzelési rendszer (beleértve a hő-visszanyerő berendezéseket is), az alkalmazott nyersanyagok megválasztása igen nagy jelentőséggel bír. Környezetvédelmi szempontból az elsődleges eljárások előnyben részesítendőek a másodlagosakkal szemben.

A **regeneratív kemencék** energetikai szempontból a leggazdaságosabb olvasztó kemencék, az égéslevegő magas hőmérsékletű előmelegítésének köszönhetően. Az alacsony fajlagos energiafelhasználás mellett kedvező az égésből származó káros anyagok emissziója is. Kivételt képez az NO_x amelyből – a magas lánghőmérséklet következtében – sok képződik. A nagyteljesítményű (> 500 t/24h), nagyméretű kemencék szinte kizárólag kereszttüzelésű regeneratív kemencék. Az általában kisebb, U-lángú kemencék energetikai hatékonysága és káros anyag kibocsátása valamivel kedvezőbb, mint a keresztlángúaké.

A **rekuperátoros kemencék** a kisebb mértékű levegő előmelegítés következtében energetikailag kevésbé hatékonyak, viszont kevesebb NO_x képződik a kemencében. A kisebb energetikai hatékonyság villamos pótfűtéssel, hő-hasznosító kazán alkalmazásával illetve a üvegcserep/keverék előmelegítésével kompenzálható.

A **kombinált (fosszilis-fűtőanyag / villamos energia)** fűtésű kemencéknek két változata lehetséges: fosszilis-fűtőanyag tüzelés villamos rásegítéssel (ún. villamos pótfűtés), vagy villamos fűtésű kemence fosszilis tüzeléssel kiegészítve. A villamos pótfűtés a bevitt összes energia kb. 2-20 %-át teszi ki. Ez a pótfűtés javítja az üveg minőségét, növeli a kemence olvasztási teljesítményét, másrészt csökkenti – a füstgázmennyiség csökkenése révén – a kemence károsanyag emisszióját. A villamos pótfűtést egyéb technikákkal kombinálva (pl. alacsony NO_x kibocsátású égők alkalmazása) a károsanyag-emisszió tovább csökkenthető. A kombinált tüzelés második változatát ritkán alkalmazzák, mert a fosszilis tüzelőanyag miatt a villamos olvasztás környezetvédelmi előnyei elvesznek (NO_x képződik, és a füstgáz port visz el a kemencéből). Az égők alkalmazásának célja a keverék leolvadásának gyorsítása.

A **szakaszos olvasztást** fazekas-, nappali kád-, illetve az ún. Flex Melter típusú kemencékben végzik, ott ahol kis mennyiségű üvegre van szükség, vagy az üveg összetételét gyakran kell változtatni. Ezek a kemencék általában kicsik, környezetszennyezésük nem túl jelentős. A

káros-anyag kibocsátás elsődleges módszerekkel (keverék-összetétel, megfelelő égők és tüzelési rendszer alkalmazása) kellő mértékben csökkenthető.

A kőzetgyapot gyártásnál általában **kúpoló-kemencéket** ritkán villamos fűtésű vagy gáztüzelésű kemencéket használnak. A kúpoló-kemence környezetvédelmi előnyei miatt várhatóan továbbra is a kőzetgyapot-gyártás fő kemence-típusa marad.

Villamos olvasztásnál nem keletkezik termikus NO_x , kénoxid továbbá széndioxid. A kemencéből csupán por, valamint a keverékben lévő anyagok bomlásából származó CO_2 (karbonátokból), NO_x (nitrátokból), továbbá SO_x (szulfátokból) távozik. Villamos olvasztásnál általában kevés szulfátot használnak, elsősorban oxidáló anyagként. Az illó komponensek emissziója is kismértékű, mert az olvadt üveget teljesen befedő keverékrétegben azok abszorpció, kondenzáció illetve kémiai reakciók révén megkötődnek. A kemence a keverék beadagolásnál általában nyitott, ezen a helyen távoznak a keletkező gázok, de a meleg miatt jelentős légáramlás (huzat) alakul ki. Az áramló levegő mennyisége kicsi, viszont nagyon sok port visz magával. Ezt a levegőt általában elszívják, és zsákos porszűrőben portalanítják. A leválasztott port visszaadagolják a kemencébe. A villamos fűtésű kemence káros anyag kibocsátása az azonos olvasztási teljesítményű levegő-fosszilis fűtőanyag tüzelésű kemence kibocsátásának 10-100-ad része és elsősorban a keverék-összetételtől függ.

A villamos fűtésű kemencék hőtechnikai hatásfoka nagyon jó, átlagosan 2-4-szer jobb, mint a levegő-fosszilis fűtőanyag tüzelésű kemencéké, szerkezetük egyszerű, beruházási költségük kicsi. Élettartamuk viszont mindössze 2-6 év és üzemeltetésük drágább, mint a lángtüzelésű kemencéké. Alkalmazásukat elsősorban a villamos energia ára határozza meg, de nagyon sok egyéb tényezőt is figyelembe kell venni. A villamos fűtésű kemence általában 75 tonna/24h teljesítményig versenyképes, 75-150 tonna/24h teljesítmény-tartományban egyes esetekben még gazdaságos, de 150 tonna/24h –nál nagyobb teljesítményeknél alkalmazásuk nem gazdaságos.

Villamos kemencét jelenleg kerámia-szál, kőzetgyapot, háztartási üveg, különleges üveg, ritkán öblösüveg gyártására használnak. A környezetet jelentős mértékben szennyező komponenseket tartalmazó üvegeket (ólomkristály, opálüveg) szinte kizárólag villamos kemencében olvasztják. A nagyon kevés alkáliát tartalmazó E-üveg villamos vezetőképessége olyan kicsi, hogy villamos fűtéssel gazdaságosan nem olvasztható. A villamos üvegolvasztás környezetvédelmi megítélésénél figyelembe kell venni azt is, hogy a villamos áramot hogyan állítják elő (vízerőmű, atomerőmű, hagyományos szén-, olaj-, földgáztüzelés), ez azonban nem képezi a jelen tanulmány tárgyát.

A villamos kemencék előnyei:

- kismértékű károsanyag-emisszió
- nagyobb fajlagos olvasztási teljesítmény
- jobb energetikai hatásfok
- egyes esetekben kisebb nyersanyag-költség
- jobb minőségű, homogénebb üveg
- kisebb beruházási költség, kisebb a kemence helyigénye
- egyszerűbb üzemeltetés

A villamos kemencék hátrányai:

- drága üzemeltetés

- a kemence élettartama rövidebb
- nagymennyiségű üveg olvasztására nem alkalmas
- sem a teljesítmény, sem az üveg összetétele nem változtatható rugalmasan
- a villamos áram fejlesztésével együtt járó környezetszennyezés

3.2 **A nyersanyagokkal és a nyersanyag-keverékekkel összefüggő technológiák megválasztása**

Az üvegiparban nagyon sokféle nyersanyagot használnak; természetben előforduló, bányászott, valamint iparilag előállított termékeket, amelyek lehetnek darabosak, vagy finomszemcsés porok. Ezen anyagok kezelése során fellépő környezetszennyezés hasonló a más iparágakban használt hasonló anyagok kezelése során keletkezőhöz. Az ömlesztett anyagokat általában silókban tárolják. Zárt siló valamint az ahhoz kapcsolódó zsákos porszűrő alkalmazásával a por-emisszió csökkenthető. Ha a nyersanyagot szállítószalagon továbbítják, teljesen zárt szállítószalag használatát javasolt. Pneumatikus szállításnál fontos a zárt rendszer tömítettsége, továbbá a szállító levegőt csak szűrés után lehet a szabadba kiengedni. A leválasztott porok újra felhasználhatók. A kész üvegkeverék szállításánál keletkező por a keverék nedvesítésével csökkenthető. Egyes esetekben (pl. boroszilikátüveg) ez a nedvesítés nem lehetséges; a száraz keverék nagyobb porzása miatt különös gondot kell fordítani a por-emisszió csökkentésére.

A keveréknek a kemencébe történő beadagolása is jelentős porképződéssel járhat. Ennek a csökkentési lehetőségei a következők:

- keverék nedvesítés
- a beadagolásnál negatív tényomás
- elszívás és az elszívott levegő szűrése (a teljesen villamos fűtésű kemencéknél elterjedten alkalmazott megoldás)
- zárt csigás adagológép alkalmazása
- az adagolónyílás lezárása (csak hűtéssel lehetséges)

A keletkező por vagy a szabadba jut, vagy az épületen belül marad. Ahol sok por képződik (pl. a keverőházban), az épületen lehetőleg kevés nyílást kell kialakítani, és ahol szükséges porzáró függönyt kell alkalmazni. Fontos a berendezések folyamatos karbantartása, a tömítések ellenőrzése, valamint a takarítás.

A zsákos (big-bag) anyagok bontásánál, a keverésnél, a szűrt por szállításánál elszívást kell alkalmazni, a megfelelő szűrővel együtt. Különösen fontos ez ott, ahol mérgező anyagokat (ólomoxid, fluoridok stb.) használnak. A jelentős gőznyomással rendelkező illó anyagok, szagos anyagok tárolásánál figyelembe kell venni a silók hőmérsékletváltozása (pl. napsütés) által előidézett „lélegzését” is.

Az atmoszférikus nyomáson üzemelő tároló silókból származó emisszió-csökkentési lehetőségei:

- napsugárzást visszaverő siló-festés
- hőmérsékletszabályozás
- a siló hőszigetelése
- megfelelő anyaggazdálkodás

- „úszó siló” alkalmazása
- gőz visszavezetés
- gumitetés siló
- ingadozó nyomás esetén túlnyomás/vákuum szelep alkalmazása
- a távozó anyagok megkötése (adszorpció, abszorpció, kondenzáció)
- felszín alatti silótöltés

3.3 Az olvasztásból származó levegőszennyezés csökkentése

3.3.1 A porkibocsátás csökkentésének lehetőségei

Porkibocsátás alatt azokat az anyagokat értjük, amelyek a mérés helyén és hőmérsékletén szilárd halmazállapotúak. Ezek lehetnek szervetlen és szerves anyagok (alsó méretkorlátozás nélkül), és aeroszolok. Üvegolvastó kemencéknél a pormérés fokozott figyelmet érdemel, mert egyes komponensek (pl. a bór vegyületek) még alacsony hőmérsékleten is gőz állapotban lehetnek, a mérés után pedig port képeznek.

Az olvasztásból származó por-emisszió forrásai:

- a keverék beadagolása a kemencébe (az összes por kb. 5 %-a).
- a keverékben lévő anyagok és üvegolvadék közötti reakciók (az összes por kb. 80-95 %-a)
- a fűtőanyag fém szennyezése (esetleg kismennyiségű hamu).

A kibocsátott por mész-alkáli üvegeknél főleg nátrium-szulfátból, borszilikát üvegeknél (E-üveg) pedig bór-vegyületekből áll. Ólomüveg gyártásánál a kibocsátott por ólom-oxidot és ólom-szulfát kondenzátumot tartalmaz. Fontos, hogy a kibocsátott porban lévő összes illékony komponens a mérés helyén kondenzálódott állapotban legyen jelen.

A fém-szennyezés a következő módokon csökkenthető:

- kevés fém-szennyezést tartalmazó nyersanyagok és üvegcserep használata
- elektrosztatikus vagy zsákos porszűrő használata
- száraz, vagy félszáraz gáztisztító használata (különösen hatásos a szelén leválasztására).

3.3.1.1 A porkibocsátás csökkentésének elsődleges módszerei

A legfontosabb módszerek a következők:

- a nyersanyagok optimális granulometriájának kiválasztása
- a keverék nedvesítése
- zárt keverék-szállítás
- helyesen megválasztott gázáramlási sebesség a kemencében
- az égők optimális elhelyezése

A komponensek illékonyságát befolyásolja a hőmérséklet, a kemencében lévő vízgőz mennyisége, továbbá az üveg felszínén áramló gázok sebessége. További befolyásoló tényező a reakciókban résztvevő komponensek mennyisége, nevezetesen a nátrium és a szulfát mennyisége mészkáli üvegnél valamint a bór mennyisége boroszilikát üvegnél.

A megfelelő üvegtisztuláshoz illetve oxidációs állapothoz szükséges minimális szulfátmennyiséget célszerű alkalmazni. A szulfátnak más anyagokkal (pl. arzén, vagy antimon vegyületek) történő helyettesítése környezetvédelmi szempontból nem célszerű.

A kemence boltozati hőmérséklete nagymértékben befolyásolja a komponensek párolgását. A hőmérséklet csökkentésével csökken a por-emisszió, viszont csökken a kemence olvasztási teljesítménye és romlik az üveg minősége; ezért alacsonyabb hőmérséklet mellett jobb hőátadást kell biztosítani. Ennek lehetőségei:

- A kemence konstrukciója és geometriája. Az ilyen módosítások csak a kemence átépítéskor valósíthatók meg.
- Villamos pótűtésnél a megfelelő hő alacsonyabb boltozati hőmérséklet mellett is bevihető az üvegbe, továbbá intenzívebbé válnak a konvekciós áramlások az üvegvadékokban.
- Az üvegcserep mennyiségének növelésével csökkenthető a boltozati hőmérséklet, továbbá a fajlagos energiafelhasználás. Olajtüzelésnél az olajfogyasztás csökkenése következtében csökken az SO₂ emisszió is.

Az égők helye és beállítása meghatározza a láng sebességét az üvegfelszín felett. Minél nagyobb ez a sebesség és minél nagyobb örvények alakulnak ki a kemencében, annál több illó komponens távozik a kemencéből. Az olajtüzelésről földgáztüzelésre történő átállás következtében csökken a kemencéből távozó por, továbbá az SO_x mennyisége. Síküveg gyártásánál ez a tüzelőanyagváltás a poremisszió 25 %-os csökkenését is eredményezheti, viszont nő a kibocsátott NO_x mennyisége.

Az elsődleges módszerekkel elsősorban a mészkáli üvegeknél lehet jó eredményt elérni; az emisszió 100 – 200 mg/m³ értékre csökkenthető, más üvegféleségeknél általában 10 – 20 %-os csökkenés érhető el. Az elsődleges módszerek alkalmazásának költségkihatását minden esetben meg kell vizsgálni, általános érvényű megállapítások nem tehetők.

Az elsődleges módszerek előnyei:

- kis költség
- megelőző intézkedés
- nem igényelnek többletenergiát és nem keletkezik hulladék

Az elsődleges módszerek hátrányai:

- nem érik el a másodlagos módszerek (szűrők) hatékonyságát
- megváltoztatják a gyártástechnológiát

3.3.1.2 A porkibocsátás csökkentésének másodlagos módszerei

3.3.1.2.1 *Elektrosztatikus porszűrő (EP)*

Az EP-ben a porszemek nagyfeszültség (80 kV-ig) alatt álló elektródák között elektrosztatikusan feltöltődnek, majd az erőtér hatására a megfelelő elektródán kiválva összegyűlnek.

A szemcsék gázáramból történő kiválasztásának folyamata:

- a szemcse elektrosztatikus feltöltődése
- a feltöltődött szemcse mozgása az elektromos erőterben
- a szemcse lerakódása a gyűjtő elektródán
- az összegyűlt szemcsék eltávolítása a gyűjtő elektródáról

Az EP széles hőmérséklet- és nyomástartományban képes működni, érzéketlen a szemcseméretre, száraz és nedves üzemmódban is működhet. A gyűjtőelektródáról annak rázásával távolítják el a ráakódott port. Az EP hatékonysága és teljesítménye függ az elektródafelülettől, az átáramló gáz mennyiségétől, valamint a szemcsék mozgási sebességétől. Egy adott anyagnál a maximális elektródafelület és az erőterben mozgó szemcse tartózkodási ideje az EP-t jellemző két paraméter. Az optimális feszültséget automatika szabályozza. Nagy jelentőséggel bír a leválasztandó anyag villamos ellenállása. Ha ez kicsi, az elektródán kiváló szemcse hamar elveszti töltését és visszajuthat a gázáramba. Ha ez nagy, a kiváló szemcsék az elektróda felületén szigetelő réteget képeznek, megakadályozva az elektródák közötti koronakisülést (hatásfok-csökkenés). Szükség esetén a szemcséket kondicionálni kell, de ez az üvegipari alkalmazásoknál nem szükséges. Az EP-be belépő tisztítandó gáz hőmérséklete nem haladhatja meg a 430 °C-ot. Ha a tisztítandó gáz sok savas anyagot hord magával, az EP előtt a gázt semlegesíteni kell.

Az EP jó hatásfokkal (95 – 99 %) választja le a 0,1 – 10 µm méretű szemcséket, így a távozó füstgáz porkoncentrációja csupán 5 – 50 mg/m³.

Az EP üzemeltetését befolyásoló tényezők:

- a tisztítandó füstgáz mennyisége
- a kívánt tisztítás mértéke
- az erőterek száma
- a füstgáz kondicionálása
- a füstgáz semlegesítése
- a leválasztott por elhelyezése (ha nem hasznosítható újra)

Az EP az üvegipar minden már működő, vagy új kemencéjénél alkalmazható. A működő kemencéknél a kellő hely biztosítása okozhat gondot. Kivételt képeznek a közetszal gyártására használt kupolókemencék, ahol a robbanásveszély (szénmonoxid) miatt EP nem alkalmazható.

Az EP energiafogyasztása a kemence fogyasztásának 1-3 %-át teszi ki. Az összegyűjtött por általában visszaadagolható a kemencébe, kivételt képeznek a nagy cseréparánnyal üzemelő kemencék, amelyeknek a szulfát-igénye kicsi. A regenerátorból távozó füstgáz (kb. 400 °C) hűtés nélkül, a rekuperátorból távozó (kb. 800 °C) viszont csak hűtve engedhető az EP-be. A börtartalmú füstgázt gyakran – a tökéletes kondenzáció biztosítása érdekében – 200 °C-ra kell lehűteni az EP előtt. Az oxigéntüzelésből származó nagy hőmérsékletű (kb. 1000 °C) füstgázt feltétlenül hűteni kell.

Az EP előnyei:

- hatékony porleválasztás
- az összegyűjtött por általában újra felhasználható

- kis üzemeltetési költség a kis nyomásesés következtében
- más rendszerekkel (gáz-semlegesítés) összeépíthető
- nagy porterhelésnél nem dugul el
- több tapasztalat áll rendelkezésre (mint pl. a zsákos porszűrőnél)
- bővíthető

Az EP hátrányai:

- villamos energiát fogyaszt (de nem sokat)
- a leválasztott por nem minden esetben hasznosítható
- gyakran szükséges a füstgáz semlegesítése
- beruházása viszonylag költséges
- a tervezet teljesítmény nem mindig tartható
- a nagyfeszültség miatt biztonsági intézkedések szükségesek
- nagyméretű berendezések, sok helyet igényelnek

3.3.1.2.2 Zsákos porszűrő

Ennek a szűrőnek a legfontosabb eleme az a membrán (szövet), amely a gázt átengedi, a port viszont nem. A szűrés kezdetén a por a szövet felületén és belsejében rakódik le, majd a kialakuló porréteg képezi a szűrő membránt. A porréteg vastagodásával együtt nő a szűrő ellenállása, ezért a szűrőt rendszeresen tisztítani kell. A szűrendő gáz áramolhat a zsák belseje felé, vagy belülről kifelé. Az összegyűlt port fordított irányban áramló tisztító levegővel, mechanikus rázással, vibrációval, vagy pulzáló sűrített levegővel – esetleg ezen módszerek kombinációjával – távolítják el. A szűrővásznon tisztítását csak egy adott mértékig célszerű végezni, mert a vászon belsejében lévő por szűkíti a pórusok méretét, ezzel együtt növeli a szűrés hatékonyságát. A szűrendő gáz áramlási sebessége a szűrő vászon anyagától és a szűrő konstrukciójától függően 0,01-0,06 m/s. A szűrő konstrukciója határozza meg annak méretét (beruházási költség), továbbá a nyomásesést (üzemeltetési költség). Ha a szűrendő gáz sebessége nagy, nagy a nyomásesés (áramlási ellenállás), és a szűrő hajlamos az eldugulásra.

Kis áramlási sebesség jó szűrési hatásfokot biztosít, de a berendezés mérete – és ezzel együtt a berendezés költsége – lesz nagy. Az üvegipari kemencék füstgázának szűrésénél problémát okozhat az, hogy a leválasztott por hajlamos a szűrővásznonra rátapadni. Az üvegipari alkalmazásnál figyelembe kell venni a szűrendő gáz összetételét, a leválasztandó por kémiai összetételét és szemcseméretét, továbbá a gáz hőmérsékletét. A füstgázt általában le kell hűteni, emiatt tekintettel kell lenni a vízgőzre és a jelenlévő savak harmatpontjára. Csak megfelelő hőállósággal és vegyi ellenállással rendelkező szűrővásznon alkalmazható. A rendelkezésre álló szűrővásznonak 130-220 °C hőmérsékletű gázt képesek szűrni; minél magasabb az üzemi hőmérséklet, annál drágább a szűrővásznon. Az üvegipar általában 450-800 °C hőmérsékletű füstgázait hideg levegő bekeverésével, vízhűtéssel, vagy hőcserélőben kell lehűteni. Ha a füstgáz savakat tartalmaz (pl. olajtüzelésnél), a zsákos porszűrő előtt a gázt semlegesíteni kell, mert a szűrőben esetleg kondenzálódó savak mind a szűrővásznot, mind a szűrő fémszerkezetét károsítják. A több mint 1 % ként tartalmazó olaj használatánál, továbbá bór-vegyületeket tartalmazó füstgáznál zsákos porszűrő csak a füstgáz semlegesítése után alkalmazható.

A zsákos porszűrő nagyon hatékony : általában 95-99 % -os leválasztást biztosít. A távozó füstgázban 10 mg/m^3 -nél kisebb a por-koncentráció, de $0,1-5 \text{ mg/m}^3$ is elérhető (kb. $0,1 \text{ kg/1}$ tonna olvasztott üveg). Ez különösen fontos akkor, ha a füstgáz olyan fémeket tartalmaz, amelyeknél szigorúak a kibocsátási határértékek.

Általában a zsákos porszűrő beruházási költsége kisebb, üzemeltetése viszont drágább, mint az EP-é. A kisebb gázmennyiség szűrésére jelenleg gazdaságosabb a zsákos porszűrő, nagymennyiségű gáz szűrésénél az EP és a zsákos porszűrő nagyjából azonos költséget jelent.

A gáz- és olajtüzelésű kemencéknél fontos az állandó kemence-térnyomás, ezért a zsákos porszűrő ellenállásának folyamatos változását megfelelően kompenzálni kell. A szűrővásznon kilyukadása igen nagy porkibocsátást eredményezhet, ezért megfelelő jelző berendezést, vagy folyamatos poremisszió-mérést kell alkalmazni.

A zsákos porszűrő előnyei:

- nagyon hatékony porleválasztás
- a szűrés szárazon történik
- egyszerű beépítés és kis beruházási költség

A zsákos porszűrő hátrányai:

- a leválasztott port nem minden esetben lehet újra hasznosítani
- a nyomásesés miatt jelentős az energia-fogyasztás
- a szűrendő gázt általában hűteni kell
- a szűrővásznot gyakran kezelni kell
- nagy a helyigénye
- a harmatpont (kondenzáció) miatt a szűrő eldugulhat
- a tisztító levegőt (ellenkező irányban áramlik) egyes esetekben fel kell melegíteni
- bizonyos porok nehezen távolíthatók el, emiatt túlzott nyomásesés állhat elő
- a szűrőzsákokat rendszeresen cserélni kell

Elvileg lehetőség van a zsákos porszűrőhöz hasonló berendezés építésére kerámia szűrőbetéttel, amely alkalmas magas hőmérsékletű gázok szűrésére. Ilyen szűrőt más iparágakban már használnak; üvegipari alkalmazására ugyan még nem került sor, de lehetőség van rá.

3.3.1.2.3 *Mechanikus porleválasztók*

A mechanikus porleválasztók a nehézségi, a tehetetlenségi, illetve a centrifugális erő segítségével választják le a porszemcséket.

A használatos típusok a következők:

- ciklon (centrifugális erő)
- ülepitő kamra (nehézségi erő)
- terelőlemezes leválasztó (irányváltásnál fellépő tehetetlenségi erő)
- zsalus leválasztó (irányváltásnál fellépő tehetetlenségi erő)

Ezen leválasztók általában nem képesek hatékonyan kiszűrni a finom szemcséket, ezért az üvegiparban ritkán alkalmaznak ilyen berendezéseket. Ciklonokat más szűrők elé lehet előszűrőként beépíteni. A ciklonok leválasztási hatásfoka 10 µm-os vagy annál nagyobb szemcséknél 45-90 %, az 1 µm-os szemcséknél mindössze 5-30 %.

A mechanikus porleválasztó előnyei:

- kis beruházási és üzemeltetési költség (a karbantartást is beleértve)
- csekély nyomásesés
- a többi szűrőtípushoz képest kis helyigény
- nagy porterhelésnél is működőképes
- szinte minden gáznál és pornál alkalmazható
- magas hőmérsékleten és nagy nyomáson is üzemképes
- különböző anyagokból készíthető

A mechanikus porleválasztó hátrányai:

- rossz hatásfokkal szűri ki a kisméretű szemcséket
- nehezen szűri ki a könnyű és szálás anyagokat
- harmatpont körüli működés esetén eldugulhat
- éghető anyagok esetén robbanásveszély
- koptató hatású por esetén jelentős kopás

3.3.1.2.4 Nedves porleválasztók

A nedves leválasztók (gázmosók) mind a gázkomponensek, mind a por leválasztására alkalmasak. Minden olyan esetben, amikor a fenti két feladat külön-külön történő elvégzése túlságosan költséges, a nedves leválasztók „BAT” - technikának tekinthetők. Ezek a berendezések hajlamosak az eltömődésre, mivel a termékjellemzően iszap. Az üvegiparban kizárólag por leválasztására nagyon ritkán alkalmazzák a nedves leválasztókat, kis kemencéknél viszont, kombinált leválasztásra (por és egyes gázkomponensek kimosása), gyakrabban.

3.3.1.3 A porszennyezés környezetvédelmi vonatkozásai

Mész-alkáli üvegeknél a kibocsátott por kb.95 %-a nátrium-szulfát, ami nem veszélyes anyag, de a környezetvédelem szempontjából kedvezőtlen, hogy a szemcseméret kicsi, kisebb mint 10 µm. Egyes üvegolvasztó kemencék fémeket juttatnak a levegőbe, nevezetesen: szelént, krómot, rezet, vanádiumot, nikkelt, antimont, arzént, kadmiumot, cinket és mangánt, a felhasznált üvegcserep, az eltüzelt fűtőanyag, illetve a keverékben lévő színező/szintelenítő anyagok függvényében. Ezek a fémek a porszemcsékben általában kötött formában vannak jelen, de a szelén, a kadmium, az ólom és a cink gőz formájában is távozhat a kemencéből, majd kondenzálódik. A portalanításnak gyakran elsődleges célja ezen (nehéz)fémek kiszűrése. Boroszilikát üvegeknél a kemencéből távozó bór tartalmú vegyületek képesek gőz állapotban átjutni szűrő berendezésen, és csak akkor kondenzálódnak, amikor a szabadba kijutnak.

3.3.1.4 Az elsődleges és másodlagos technikák és a „BAT” viszonya

Az elsődleges módszerekkel nem érhető el olyan mértékű porcsökkentés, mint a másodlagosakkal. Kizárólag elsődleges módszereket alkalmazva csökken a kemence termelési rugalmassága: csak nagyon tiszta anyagok használhatók, továbbá kén és nehézfémektől mentes fűtőanyag alkalmazható, és nem lehet a gyártott terméket változtatni (pl. színes vagy szintelen üvegre). A közeli években jelentős kutató-fejlesztő munkát fognak az elsődleges technikákra fordítani. Elsősorban a por keletkezésének részleteit kutatják, azért, hogy középtávon 70-100 mg/Nm³ értékű por-emisszió elérhető legyen. Ez az érték jelenleg – másodlagos leválasztás nélkül – 100- 200 mg/Nm³. A „BAT”-al kapcsolatos döntéseket azonban csak a jelenleg rendelkezésre álló ismeretekre lehet alapozni.

A másodlagos módszerekkel sokkal kisebb emisszió biztosítható, de mind a beruházási, mind az üzemeltetési költségek nagyok. A jó eredmények miatt egyes EU tagországokban már minden mészkáli-üveg kemencén működik porleválasztó.

3.3.2 Az NO_x kibocsátás csökkentésének lehetőségei

Az NO_x alatt az NO és NO₂ gázokat értjük, nem tartozik ide az N₂O, mert ez gyakorlatilag nem képződik az üvegolvasztó kemencékben. Az NO_x keletkezésének forrásai:

- a nyersanyagok,
- a fűtőanyagok,
- valamint a termikus NO_x képződés.

Ha a **nyersanyagok** valamelyikében nitrogén van jelen, az a kemencéből távozik, az üvegbe gyakorlatilag nem épül be. Például az Na₂NO₃ megolvadásakor az Na₂O beépül az üveg szerkezetébe, a maradék pedig NO_x és O₂ valamint N₂ formában távozik.

A **fűtőanyagban** lévő nitrogénből és nitrogén tartalmú vegyületből származó NO_x elenyésző a termikus NO_x-hez képest. Földgáztüzelésnél a fűtőanyagból gyakorlatilag nem keletkezik NO_x.

Az üvegolvasztó kemencékben a lánghőmérséklet nagyon magas: 1650-2000 °C, ezért a jelenlévő nitrogén jelentős része oxidálódik, és **termikus NO_x**-ként távozik a szabadba. (A termikus NO_x képződés már 1300 °C hőmérsékleten elkezdődik.) A nitrogént az égéslevegő, a porlasztó-levegő (olajtüzelésnél), valamint a kemencébe belépő fals levegő tartalmazza. A tüzelés során elsősorban (90-95 %-ban) NO képződik, amelynek egy része a szabad levegőn oxidálódik NO₂-vé. Villamos fűtésű kemencékben termikus NO_x nem képződik, csupán a keverékben lévő anyagok bomlása során keletkezik. NO_x emisszió akkor is keletkezhet, ha a szén-monoxid és a kén-hidrogén oxidálására utánégetőt alkalmaznak.

A tüzelés hatékonyságának növelésével csökken a keletkező füstgáz mennyisége és vele együtt a képződő NO_x mennyisége is, ami azt jelenti, hogy a füstgáz NO_x koncentrációja nem csökken ugyan, de kisebb lesz az 1 tonna üvegre vonatkoztatott NO_x emisszió.

Az NO_x képződését befolyásoló tényezők: lánghőmérséklet, az égéstérben lévő oxigén-koncentráció, valamint a lángnak a nagy hőmérsékletű zónában való tartózkodási ideje. Az NO_x keletkezése ennek következtében visszaszorítható, ha csökken a nitrogén és oxigén egyidejű jelenléte a magas hőmérsékleten.

3.3.2.1 A tüzelés megváltoztatása

Az égő-fűvókák tömítésével, valamint a keverékadagolás lezárásával csökkenthető a kemencébe jutó falslevegő, aminek révén a keletkező NO_x mennyisége akár 10 %-al is csökkenhet. A tökéletes égéshez 5-10 %-os légfesleges elegendő (1-2 % oxigénfelesleg). A **légfesleget** a sztöchiometrikus értékig **csökkentve**, jelentős energia takarítható meg és csökken a képződő NO_x mennyisége. Ehhez azonban a füstgázban lévő NO , CO és O_2 folyamatos mérésére van szükség. Redukáló tüzelésnél megnő a CO szint, a tüzállóanyagok korróziója felgyorsul és ez az atmoszféra befolyásolja az üveg minőségét. Több égővel üzemelő kemencén, a legmelegebb zónában lévő égőket levegőhiánnyal, a hidegebb kemencereszben lévőket pedig légfesleggel üzemeltetve, biztosítani lehet a kemence egészére a minimális, sztöchiometrikus értékhez közeli légfesleget, az NO_x mennyisége pedig akár 40 %-al is csökkenthető.

Olajtüzelésnél gőzporlasztást, vagy nagy nyomással üzemelő porlasztást alkalmazva, a porlasztó levegő kiküszöbölhető. A láng legmelegebb részén így csökken a hőmérséklet, és ennek következtében csökken az NO_x képződés.

Rekuperátorral üzemelő kemencékben – a **hidegebb égéslevegő** miatt – jóval kevesebb NO_x képződik, mint a nagymértékben előmelegített égéslevegővel üzemelő regeneratív kemencékben. A hidegebb égéslevegő viszont rosszabb hatásfokot, nagyobb energiafelhasználást és kisebb olvasztási teljesítményt jelent. Így az 1 tonna üvegre vonatkoztatott NO_x és CO_2 valamint a kéndioxid- és porkibocsátás végeredményben kedvezőtlen lesz, ezért ez a megoldás környezetvédelmi szempontból nem előnyös.

Ha a fűtőanyag/levegő (fűtőanyag/oxigén) keveréket egy helyen vezetik be a kemencébe, az égő közelében egy magas hőmérsékletű, oxidáló primer zóna, az égőtől távolabb pedig egy hidegebb, szekunder zóna alakul ki. A primer zónában csökkentve akár az oxigén, akár a fűtőanyag mennyiségét, kevesebb NO_x keletkezik. A hiányzó oxigént (levegőt) vagy fűtőanyagot a tüztér távolabbi részébe vezetik be, így biztosítva a tökéletes égést.

A **többfokozatú levegő-adagolóval működő tüzelés** jelenleg kipróbálás alatt áll (BAS illetve OE AS eljárások), de már 10 kemence működik ilyen tüzeléssel. Az NO_x emisszió csökkenése így eléri a 70 %-ot.

A **többfokozatú fűtőanyag-adagolás** lényege a következő: a teljes fűtőanyag-igény 10 %-át kitevő, kis impulzusú gázlángot alakítanak ki az égőnyakban; a szekunder láng körülveszi a primer lángot, csökkentve annak oxigén-tartalmát, és a közepében lévő hőmérsékletet. Ez az eljárás könnyebben megvalósítható, mint a többlépcsős levegőbevitel. Az elérhető NO_x emisszió csökkenés itt kb. 35 %.

Abban az esetben, ha **füstgázt vezetnek be a lángba**, csökken annak hőmérséklete és oxigéntartalma. Az üvegolvasztó kemencékben ez nehezen valósítható meg, emiatt ennek az eljárásnak üvegipari alkalmazása nem valószínű.

Az **alacsony NO_x kibocsátású égő-típusokat** speciálisan az üvegipar részére fejlesztették ki. Ezek az égők a már ismert műszaki megoldásokat alkalmazzák, a paramétereket oly módon optimalizálva, hogy az NO_x képződés akár 30 %-al is csökken. Más az égők szerkezete olajtüzelésnél, és más földgáztüzelés esetében.

Az alacsony NO_x kibocsátású égők jellemzői a következők:

- a fűtőanyag – levegő lassú összekeverése
- a tökéletes égés biztosítása minimális befűvási sebességgel

- a láng emissziójának növelése a gáz krakkolása révén, mert ily módon csökken a láng hőmérséklete

Az általános üvegipari tapasztalatok szerint a gáztüzelésű kemencék NO_x emissziója nagyobb, mint az olajtüzelésűeké. (Tájékoztatásul: $2\ 500\ \text{mg}/\text{m}^3$ **gáztüzelés**nél, és $1\ 800\ \text{mg}/\text{m}^3$ **olajtüzelés**nél.) Ezt a különbséget a két fűtőanyag lángjának eltérő emissziója okozza: a földgázláng hőmérséklete magasabb a kisebb emisszió miatt. Az NO_x emisszió csökkenthető a fűtőanyagnak (illetve a lángnak) megfelelő kemence-konstrukció kialakításával. Az U-lángú kemencék NO_x emissziója általában kedvezőbb, mint a keresztlángúaké. (Az előbbieknél ez az érték: $650\text{-}800\ \text{mg}/\text{m}^3$ és $1,5\ \text{kg}/1$ tonna üveg, az utóbbiaknál: $700\text{-}1100\ \text{mg}/\text{m}^3$ és $0,9\text{-}2\ \text{kg}/1$ tonna üveg.)

A tüzelés megváltoztatásának előnyei:

- viszonylag kedvező költségek
- szinte minden kemencénél jelentősen csökkenthető az NO_x emisszió
- üzemelő és új kemencéken egyaránt alkalmazható módszerek
- környezetvédelmi szempontból csak előnyökkel járó módszerek, amelyek gyakran energia-megtakarítást is eredményeznek
- az alacsonyabb hőmérséklet és kevesebb energia-felhasználás kedvezően hat az összes többi emisszióra

A tüzelés megváltoztatásának hátrányai:

- nagy gyakorlatot és tapasztalatot igénylő módszerek
- a kívánt eredmény eléréséhez meg kell változtatni a kemence konstrukcióját
- az üvegminőség biztosítása érdekében tekintettel kell lenni a redox állapot megváltoztatására
- a tűzállóanyag korróziója miatt ellenőrizni kell a CO-szintet
- a redukáló hatás miatt fokozódik az SO_2 képződése.

3.3.2.2 A keverék-összetétel megváltoztatása

Az üvegolvasztásnál nitrátokat oxidálószerként és tisztulást elősegítő anyagként használnak. A leggyakrabban nátrium-nitrátot, ritkábban (különleges üvegeknél) kálium- és bárium-nitrátokat alkalmaznak. Az olvasztás során a nitrátok elbomlanak: NO , NO_2 valamint N_2 és O_2 keletkezik a reakció során. Az O_2 oxidálja az üvegolvadékot (a két-vegyértékű vasból három-vegyértékű vas lesz), továbbá a keverékben lévő szerves anyagokat.

Öblösüveg és síküveg gyártásánál ritkább, különleges, minőségi üvegeknél (például teljesen színtelen üvegeknél, füst- és bronzszínű üvegeknél) azonban gyakoribb a nitrátok használata. Tájékoztatásul: az EU-ban az olvasztott üveg 7-8 %-ánál használnak nitrátokat.

A nitrátból képződő NO_x mennyisége függ az üveg redox-állapotától, a keverékkel érintkező láng redukáló hatásától, és a tüzeléstől. Általában 1 tonna üveghez 5-10 kg NaNO_3 -ot használnak fel (ez a keverék 0,5-1 %-a). Az olvasztás során főleg NO és O_2 képződik, N_2 és NO_2 csak kisebb mennyiségben. A keverékben lévő 1 % nitrátból, 1 tonna üvegre vonatkoztatva, elméletileg 5,4 kg NO_x képződik, ami 8 % O_2 mellett $2\ 700\ \text{mg}/\text{m}^3$ koncentrációt jelent a füstgázban. Ipari körülmények között ennek 50-65 %-a jelenik meg emisszióként.

A nitrátok szulfátokkal helyettesíthetők, a helyettesítésnél azonban kb. háromszoros mennyiségre van szükség, ami növeli az SO_x kibocsátást. Arzén-oxid is használható, de alkalmazása, egyéb okok miatt nem célszerű. A cérium-oxid is alkalmas helyettesítő anyag, de sokkal drágább, mint a nátrium-nitrát. Tekintettel arra, hogy a nitrátok nem nélkülözhetők és nem helyettesíthetők (gazdaságosan és környezetvédelmi szempontok szerint), a cél az, hogy az olvasztáshoz csak a lehető legkevesebb nitrátot használjanak.

3.3.2.3 A kemence-konstrukció megváltoztatása

A rekuperátoros kemencék kedvező NO_x emissziója alapján a tervezők olyan kemence-típusokat fejlesztettek ki, amelyek egyesítik az alacsony NO_x emissziót biztosító megoldásokat. A legismertebb típusok: a SORG cég „LoNOx” és a szakaszos üzemű „Flex” olvasztó kemencéje.

A „LoNOx” kemence a kis üvegmélységű tisztuló kád és a keverék-előmelegítés kombinációja. Ez a konstrukció a termikus hatásfok csökkenése nélkül biztosítja az alacsony NO_x emissziót. A kis kád-mélység a fő üvegáramlást a felszín közelébe kényszeríti, így csökken az üvegolvadék és a kemence felépítmény hőmérséklete közötti különbség, következésképpen a kemence alacsonyabb hőmérsékleten üzemel, mint egy hagyományos üvegolvasztó kemence.

Az égéslevegőt rekuperátorban melegítik elő; a regenerátorhoz képest kisebb mértékű levegő-előmelegítést két-fokozatú keverék-, ill. üvegcserep-előmelegítéssel kompenzálják. A kemencéből távozó füstgáz az előmelegítő zónán áramlik keresztül, ahol a keveréket felmelegíti, majd a rekuperátorba jut. A rekuperátor után a füstgáz az üvegcserepet melegíti fel, mielőtt a szabadba távozik.

A „LoNOx” kemence három részből álló, hosszú, keskeny felépítésű konstrukció. Az első rész a keverék és az üvegcserep előmelegítésére és megolvasztására szolgál, ezt követi a kis mélységű (400 mm vagy annál kisebb) tisztuló tér. A kemence harmadik része az ún. "deep refiner" típusú munkakád. A kemencét olaj-, vagy gázégőkkel fűtik, amelyeket az olvasztótérben helyeznek el. A kemence egyes részeit belső falak választják el egymástól. A kemencébe jutó keveréket nem a nagy hőmérsékletű kemence-felépítmény melegíti fel sugárzás révén, hanem a keverék felett áramló forró füstgáz. A nagy hőmérséklet-különbség miatt a hőátadás igen hatékony. Az üvegolvadék konvekciós áramlásait kis teljesítményű villamos pótfűtéssel és az olvasztási zóna végén beépített buborékoltatóval („bubbling”) erősítik.

Az üvegcserep-előmelegítőt a rekuperátor után, elkülönítve építik be. Ebben a torony alakú, ellenáramú hőcserélőben a füstgáz és az üvegcserep közvetlenül érintkezik; a cserep felülről csúszik lefelé, a füstgáz pedig alulról felfelé áramlik. A cserep-oszlopban a füstgázt zsálrendszer osztja el egyenletesen. Az üvegcserep kb. 5 órát tartózkodik a hőcserélőben, és átlagosan 400 °C-ra melegszik fel. A hőcserélőbe belépő füstgáz hőmérséklete átlagosan 500 °C, a távozó füstgázé pedig kb. 200 °C.

Az alacsonyabb hőmérséklet következtében az NO_x emisszió kicsi: 420-440 mg/Nm³, ami 1 kg/1 tonna üvegnek felel meg. Az emisszió az üzemi tapasztalatok alapján és a tüzelés optimalizálásával tovább csökkenthető.

Az „LoNOx” kemence üzemeltetése alig drágább, mint a hagyományos kemencéé, beruházása viszont költségesebb. A kemence alkalmazásának előfeltétele a nagy, 70 % vagy annál nagyobb csereparány. Csak átépítéssel, vagy új beruházásként építhető meg. A kemence hő-felhasználása 3,3 GJ/1 tonna üveg, 90-95 %-os csereparány és 3 % villamos pótfűtés mellett. Azonos olvasztási teljesítményt alapul véve, az „LoNOx” kemence helyigénye

nagyobb, mint a hagyományos kemencéé (drágább beruházás). A kis üvegmélységnek köszönhetően viszont ez a kemence alkalmas minőségi barna üveg gyártására, még 95 %-os cseréparány és vegyes, színes üvegcserep alkalmazása mellett is.

A nagymennyiségű üvegcserep felmelegítése során szerves anyag – esetleg szag – kerülhet a szabadba, sőt esetleg dioxin/furán is.

3.3.2.4 A FENIX eljárás

Ez az eljárás a már ismert elsődleges eljárások kombinációja, a tüzelés optimalizálásával összekapcsolva, melynek révén energia-megtakarítás érhető el.

A FENIX eljárás célja:

- a légfelesleg csökkentése, a CO emisszió növekedése és az üvegminőség romlása nélkül,
- a lánghőmérséklet egyenletessé tétele, és a kemence túlhevült részein a hőmérséklet csökkentése,
- az égéslevegő és a fűtőanyag tökéletes, szabályozott keveredése.

A fenti célok elérése érdekében az egész tüzelési rendszert módosították, és teljesen új rendszerű porlasztókat alkalmaznak. A módosítás érinti a kemence mérő és szabályozó rendszereit; a regenerátorok tetején például oxigén-elemzést végeznek, a légfelesleg pontos szabályozása érdekében. Az eljárás szabadalommal védett.

A láng egyenletes hőmérsékletét a láng térfogatának növelésével, valamint a fűtőanyag és az égéslevegő fokozatos összekeverésével biztosítják. A kemence legmelegebb pontján 100 %-os oxigén-tüzelés is alkalmazható; a fűtőanyag/oxigén fokozatos keveredését a közük befújt inert gázzal (CO₂ vagy füstgáz) késleltetik. Ennek következtében a láng kialakulása eltolódik a kemence közepe felé, és megnő a láng térfogata. Pótlólagos (szekunder) fűtőanyag-porlasztók és levegő/oxigén lándzsák alkalmazásával biztosítják az üvegfelszín felett a kívánt oxidáló atmoszférát, az egész kemencére vonatkozó légfelesleg növelése nélkül.

A FENIX eljárással egy keresztlángú, olajjal fűtött síküveg (float) kemencén az NO_x koncentráció 1600 mg/m³-ről 580 mg/m³-re (4 kg/1 tonna üvegről 1,25 kg/1 tonna üvegre) csökken, az energia-felhasználás pedig 5,7 GJ/1 tonna üvegről 5,4 GJ/1 tonna üvegre, 21 %-os cseréparány mellett. Ennek következtében a beruházási többlet-költség (új égő-porlasztók, új kemence-szabályozás) 2 év alatt megtérül. A FENIX eljárás gázfűtésű kemencéken történő alkalmazása folyamatban van.

3.3.2.5 Oxigén-tüzelés

Oxigén-tüzelésnél az égéslevegőt 90 %-nál nagyobb tisztaságú oxigénnel helyettesítik, ennek következtében termikus NO_x a kemencében gyakorlatilag nem keletkezik. Az oxigén-tüzelés mind olaj-, mind gáztüzelésnél alkalmazható, de elsősorban gáztüzelésnél alkalmazzák. A keletkező füstgáz mennyisége – az oxigén tisztaságától függően – 70-80 %-al csökken, és szinte kizárólag CO₂-ből és vízgőzből áll.

Az oxigén-tüzelésű kemencék konstrukciója a rekuperátoros kemencékével azonos; oldalfalon elhelyezett égőkkel és egyetlen füstgáz-elszívással üzemelnek, hőhasznosítás nélkül (Unit-Melter kemence). Tekintettel arra, hogy az égéslevegőben lévő nitrogént nem kell a láng hőmérsékletére felhevíteni, energia takarítható meg. A kemencébe a nitrogén bejuthat az oxigénnel (max. 4-6 %), a fűtőanyaggal (földgázban 2-15 %), a falslevegővel, valamint a nyersanyag-keverék anyagaival. A kemencéből igen magas hőmérsékletű füstgáz távozik

(1200-1300 °C), amelyet általában hideg levegő bevezetésével hűtenek le. A lehűtött füstgáz térfogata a hagyományos kemencéből távozó füstgáz 70-150 %-a.

Az oxigén-tüzeléshez alkalmazott égők jelentős fejlődésen mentek keresztül; jelenleg az üveglvasztó kemencékre kifejlesztett speciális égőket használnak. Ezen égők sajátosságai a következők:

- hosszú, lapos, világító láng
- az üveg felszínén szétterülő láng
- a fűtőanyag és az oxigén késleltetett keveredését biztosító égők (az O₂-ben dús lánghozzáadásban alacsonyabb maximális hőmérséklet alakul ki)
- vízhűtés nélküli üzemelés
- a láng impulzusának és alakjának változtatása
- több fűtőanyaggal történő üzemelés.

A kemencét vagy szállított (kis kemence, cseppfolyós oxigén), vagy helyben előállított oxigénnel táplálják. Egyes esetekben (ha a közelben van oxigént előállító üzem) lehetőség van a vezetékes oxigén-ellátásra is. Az üveggyárban, helyben történő oxigén-előállításra mind a kriogén, mind az abszorpciós módszer alkalmazható. Az oxigént előállító üzem lehet a szolgáltató-szállító vállalat, vagy az üveggyár tulajdona. Kis fogyasztás esetén (1 vagy 2 kemence) általában az abszorpciós, míg nagy fogyasztás esetében (float síküveg kemence) a kriogén oxigén-gyártást alkalmazzák.

A levegővel történő tüzeléshez képest, oxigén-tüzelésnél az NO_x emisszió 70-90 %-al csökken, és értéke 0,3-0,8 kg NO_x/1 tonna üveg. A kevesebb füstgáz miatt, az egyéb szennyező anyagok koncentrációja viszont nagyobb, de a hűtés során felhígított füstgáz térfogatára vonatkoztatott koncentrációk már közelítenek az átlagértékekhez. Az üvegfelszín feletti kisebb áramlási sebességnek, és az örvénylés hiányának köszönhetően, csökken a kemence egyéb emissziója is (por, fluoridok, kloridok stb.) A por-emisszió mészkáli-üvegnél 0,2-0,3 kg/1 tonna üveg, és a csökkenés különösen jelentős boroszilikát-üvegnél. A fűtőanyag-megtakarítás következtében csökken a CO₂ és olajtüzelésnél az SO₂ emisszió.

Az oxigéntüzelésű kemence beruházásánál figyelembe kell venni a következőket: hőcserélő elmaradása (olcsóbb beruházás), drágábbak az égők, általában drágább (jobb minőségű) tűzállóanyagok, drága biztonsági berendezések.

Részleges oxigén-tüzelést is régóta alkalmaznak az üvegiparban; egyrészt az üvegminőség javítására, másrészt az olvasztási teljesítmény növelésére (kemenceperiódus végén a teljesítmény-csökkenés kompenzálására). A gyakorlatban két megoldást alkalmaznak: a hagyományos tüzelésnél egyszerűen oxigént fűjnek a kemencébe, vagy oxigénnel üzemelő égővel egészítik ki a hagyományos tüzelési rendszert.

Az oxigén-tüzelés előnyei:

- jelentősen csökken az NO_x emisszió (70-90 %-os csökkenés)
- olcsóbb beruházás
- a szükséges berendezések nem drágábbak a hagyományos berendezéseknél
- kisebb energia-felhasználás
- a por és illékony anyagok emissziója csökken

- a kevesebb füstgáz következtében, az esetlegesen szükséges szűrő/tisztító berendezések beruházási költsége kisebb
- nő a kemence teljesítménye, és az olvasztás jobban szabályozható.

Az oxigén-tüzelés hátrányai:

- ha nem sikerül jelentős energiát megtakarítani, az eljárás drága, különösen nagy méretű mészkáli-üveg kemencék esetében
- a költségek nagy mértékben függenek a helyi adottságoktól
- a felgyorsult tűzállóanyag-korrózióra még nem találtak megoldást
- az oxigén-előállítás villamos energiát fogyaszt
- a termikus NO_x csökken, nem csökken viszont a nitrátok bomlásából keletkező NO_x mennyisége
- csak a kemence átépítésének idején lehet átállni oxigén-tüzelésre
- az oxigén előállítása, tárolása megfelelő biztonsági berendezéseket ill. intézkedéseket igényel
- az oxigén előállítása zajt okoz.

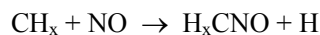
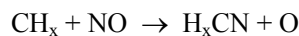
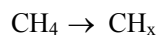
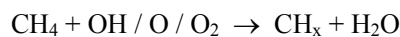
3.3.2.6 Fűtőanyaggal végzett redukció („CFR” eljárás)

Ennél az eljárásnál fűtőanyagot vezetnek a füstgázba, ahol a lejátszódó kémiai reakciók eredményeképpen az NO_x N₂-vé redukálódik. Az üvegiparban a „3R” elnevezésű, valamint az utóégetései eljárást alkalmazzák. Mindkét eljárás alkalmazása a regeneratív kemencékre korlátozódik.

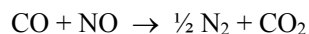
3.3.2.6.1 A „3R” eljárás

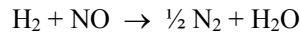
A regenerátorok tetején – ellenőrzött mennyiségű – gázt, vagy olajat adagolnak, ami (a lejátszódó kémiai reakciók eredményeképpen) az NO_x-et N₂-vé redukálja. A regenerátor biztosítja az ehhez szükséges hőmérsékletet, a turbulens keveredést, továbbá a szükséges tartózkodási időt. Innen ered a „3R” elnevezés: regenerátor, redukció, reakció.

A folyamat két részben játszódik le: az „NO_x” részben és a „kiégés” részben. Az első részben a fűtőanyagból származó gyökök és az NO között reakciók mennek végbe. Ezek a gyökök (CH_x) a regenerátorba juttatott fűtőanyag pirólízise során keletkeznek igen rövid idő alatt. A lejátszódó reakciók:

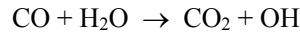
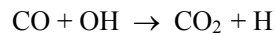
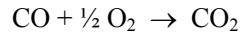


Ezek a gyors reakciók a regenerátor felső részében mennek végbe, és az NO_x-nek kb. 25 %-át redukálják. Ezután, a regenerátor rácsai között (az elegendő idő és a megfelelő hőmérsékletnek köszönhetően) a füstgázban lévő (a primer és szekunder fűtőanyagból származó) CO és H₂ a megmaradt NO-t N₂-vé redukálja. A lejátszódó reakciók:





A „3R” művelet második, „kiégésnek” nevezett részében, a regenerátor után (szabályozott mennyiségben) adagolt levegővel elég a maradék CO és H₂. Az égési reakciók:



A „3R” eljárással 500 mg/Nm³értékű NO_x emisszió érhető el (8 % O₂-re vonatkoztatva), ami 1,0-1,5 kg/1 tonna üvegnek felel meg. Ez az összes NO_x 70-85 %-os redukcióját jelenti. A „3R” eljárás mind üzemelő, mind átépített/új kemencén alkalmazható, úgy olaj-, mint földgáztüzelés esetén. A beruházási költség viszonylag kicsi, de ehhez járul még a licenc-díj. Az üzemeltetési költség viszont megnő, mivel a „3R” eljárás a fűtőanyag-felhasználást kb. 7 %-al megnöveli (és ezzel együtt nő a CO₂ emisszió is). Ez a többletenergia viszont hulladék-hőhasznosítással (kazán) visszanyerhető.

A „3R” eljárás előnyei:

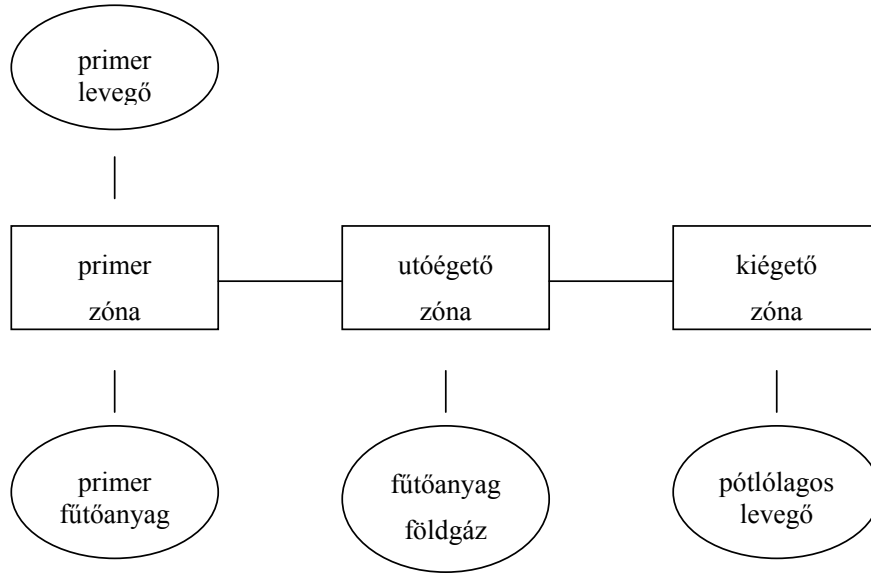
- az NO_x emisszió jelentősen csökken
- minden regeneratív kemencén alkalmazható
- nem kell megváltoztatni sem a kemencét, sem annak üzemeltetését
- beruházása olcsó
- alkalmazásához nem kell a kemencét leállítani
- nincs szükség vegyszer reagensre
- a többletenergia-fogyasztás hulladék-hőhasznosítással kompenzálható
- bevált, ismert eljárás
- bármely eredetű NO_x-et redukál

A „3R” eljárás hátrányai:

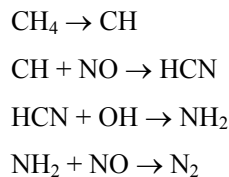
- többlet-energiát igényel (kb.7 %-os többlet)
- nagyobb a CO₂ emisszió
- egyes tűzállóanyagok (regenerátor-rács) károsodnak
- a nem regeneratív kemencéken nem alkalmazható.

3.3.2.6.2 Utóégetéses eljárás

Ezt a (kazánoknál már bevált) eljárást elsősorban földgáztüzelésű kemencéknél alkalmazzák az üvegiparban. Az eljárás vázlata a következő:



A tüzelés 3 zónára osztható. A primer zónában a kemence meglévő égőiben sztöchiometrikus vagy levegőhiányos tüzelést végeznek, és az itt keletkező NO_x redukálódik az utóégető zónában, ahová pótlólagos fűtőanyagot (a primer fűtőanyag 5-20 %-a) adagolnak. Itt a fűtőanyagból képződő gyökök (elsősorban CH) hatására a jelenlévő NO-ból HCN és NH_3 képződik. Ezek a vegyületek reakcióba lépnek a maradék NO-val, a reakció terméke a molekuláris N_2 . A megmaradó éghető alkotók a kiégető zónában a beadagolt levegővel égnak el. Ha az utóégető zónában izotermikus feltételek és legalább 0,5 s tartózkodási idő biztosítható, elméletileg jelentős NO_x redukció érhető el. A lejátszódó reakciók:



Az utóégető zónát az olvasztókemence azon részén alakítják ki, ahol az üveg távozik az olvasztó térből, a kiegészre szolgáló levegőt pedig közvetlenül a hőcserélő (regenerátor vagy rekuperátor) előtt vezetik be a füstgázba.

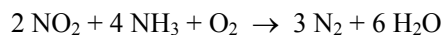
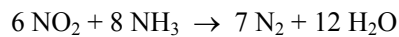
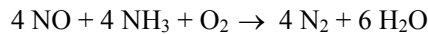
Ezzel az eljárással az NO_x emisszió kb. a felére csökkenthető, értéke 350 t / 24 h teljesítményű öblösüveg kemencénél 2 500 mg / Nm^3 , 5 % többlet földgáz felhasználása mellett. A szekunder földgáz mennyiségét 9 %-ra növelve az emisszió értéke 1 000 mg / Nm^3 -re csökkent. A hőcserélő előtt történő levegő-bevezetés (végső kiégetés) hatására a füstgáz hőmérséklete 40-80 °C-al megnő, aminek következtében emelkedik az égéslevegő előmelegítési hőmérséklete is. Ez a többletenergia-felhasználást részben (kb. 2/3) kompenzálja.

3.3.2.7 Szelektív katalitikus redukció („SCR” eljárás)

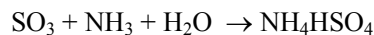
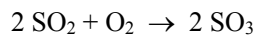
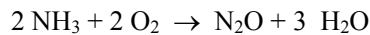
Az „SCR” eljárásnál az NO_x-et katalizátor ágyban ammónia redukálja 200-500 °C (optimálisan 300-450 °C) hőmérsékleten. A katalizátor fém vagy kerámia hordozón rögzített vanádium- és titán-oxid (TiO₂ ill. V₂O₅). Zeolit molekuláris szűrő is alkalmazható, ez esetben

A reakció a mikroszkópikus méretű pórusokban játszódik le. A katalizátorok élettartama az üvegiparban általában 3 év, ezután az aktivitás romlik. Az üvegiparban modul rendszerű, méhsejt szerkezetű katalizátorokat alkalmaznak; így a katalizátor könnyen cserélhető, és szükség esetén bővíthető. Az NH₃-at folyadék, vagy vizes oldat formájában permetezik a füstgázba a katalizátor előtt. Az NH₃/NO_x arány általában kisebb, mint 1,1/1, hogy az ammónia ne tudjon átjutni a katalizátoron.

A lejátszódó reakciók:



A nem kívánatos, de esetleg végbemenő reakciók:



Az „SCR” eljárásnál az N₂O képződés jelentéktelen, nehézséget az SO₃ és az ammónium-biszulfát (NH₄HSO₄) okoz, ami elsősorban a kén-tartalmú fűtőanyagoknál fordul elő. Az ammónium-biszulfát, továbbá a füstgázban esetleg jelen lévő MgO, CaO, Na₂O, K₂O illetve nehézfém katalizátor-méreg. Ha a füstgáz sok port tartalmaz, a katalizátor előtt szűrőt (EP vagy zsákos szűrőt) kell beépíteni, mert a por-koncentrációt 10-15 mg/m³-re kell csökkenteni. A zsákos porszűrő hátránya, hogy utána a gázt vissza kell melegíteni a katalizátor által megkívánt hőmérsékletre. A szűrő után megmaradó finom por lerakódását a katalizátorban (eltömődés) tisztító levegő rendszeres átfűvésével (zónánként) lehet megakadályozni.

Ezzel az eljárással az NO_x emisszió 75-90 %-al csökkenthető, a katalizátor és az ammónia mennyiségétől függően. A környezetbe távozó füstgázban az NO_x 200-500 mg/Nm³, ami 0,5-1 kg/1 tonna üvegnek felel meg. Az eljárást elsődleges módszerekkel kombinálva az emisszó tovább csökkenthető. (A megengedett határérték általában 500 mg/m³).

Az eljárás költséges beruházást igényel, különösen akkor, ha porszűrőt is kell alkalmazni. Az üzemeltetési költség viszont kedvező. Az eljárás mind üzemelő, mind új/átépített kemencén alkalmazható a legtöbb üvegfajta esetében. Az alkalmazást viszont korlátozza a füstgáz SO₂ tartalma, a képződő ammónium-biszulfát katalizátort mérgező és korróziós hatása miatt. Boroszilikát üvegnél is alkalmazzák az „SCR” eljárást, de üveggyapotnál nem. A problémát a bór-tartalmú (elsősorban bór-sav) vegyületek okozzák, amelyek 60 °C-ig kondenzálódnak tehát a katalizátor üzemi hőmérsékletén még jelentős mennyiségben vannak jelen, és gátolják a katalizátor működését.

Az „SCR” eljárás előnyei:

- hatékony NO_x redukció
- minden eredetű NO_x-et redukál
- jól illeszthető az integrált környezetvédelmi rendszerbe

- kellő üvegipari (és egyéb iparági) tapasztalat áll rendelkezésre
- a szállítók teljesítmény-garanciát adnak.

Az „SCR” eljárás hátrányai:

- egyes esetekben (olaj-tüzelés, bórtartalmú üvegek) további műszaki megoldásokat kell kidolgozni
- az ammónia tárolása és adagolása biztonsági és környezetvédelmi problémát jelent
- az eljárás energiát fogyaszt
- porszűrést, füstgáz-semlegesítést és kis SO₂ tartalmat igényel
- a beruházás drága, különösen kis kemencéknél
- nagy a helyigénye
- egyéb, olcsóbb eljárások kifejlesztés alatt állnak
- a katalizátornak véges az élettartama
- a katalizátor üzemi hőmérséklete nem teszi lehetővé a hővisszanyerést
- rekuperátoros kemencénél a füstgázt hűteni kell.

3.3.2.8 Szelektív, katalizátor nélküli redukció („SNCR” eljárás)

Ennél az eljárásnál ugyanazok a kémiai reakciók játszódnak le, mint az előzőekben ismertetett „SCR” eljárásnál, de katalizátor nélkül, 800-1100 °C (optimálisan 950 °C) hőmérsékleten.

Az NO_x hatékonyságát befolyásoló tényezők:

- hőmérséklet
- a kiindulási NO_x koncentráció
- az ammónia és a füstgáz tökéletes keveredése
- az ammónia / NO_x arány
- a reakció időigénye (1-2 s).

A megfelelő hőmérséklet és ammónia / NO_x arány betartása nem kis feladat, különösen változó kemence-terhelés mellett. Nem megfelelő üzemeltetés esetén a rendszerből ammónia távozhat, továbbá N₂O és ammónium-biszulfát képződhet. Az ammónium-biszulfát képződésének nagyobb a valószínűsége, mint a katalizátoros redukciónál, mert ez esetben a kémiai reakciók előtt nincsen semmilyen szűrő/leválasztó berendezés.

Az NO_x redukció 30-70 %-os, de elérték már a 80 %-os hatékonyságot is. Ezt az eljárást könnyebb rekuperátoros, mint regenerátoros kemencén alkalmazni. Mind üzemelő, mind átépített/új kemencén lehet alkalmazni.

Az „SNCR” eljárás előnyei:

- megfelelő üzemi körülmények között hatékony NO_x redukció
- olcsó beruházás
- nincs szükség katalizátorra
- kismértékű a többletenergia-felhasználás

Az „SNCR” eljárás hátrányai:

- az ammóniának a megfelelő hőmérséklet-tartományban történő injektálása nem probléma mentes, különösen a regeneratív kemencéknél
- nem megfelelő hőmérsékleten NH₃ kerül a szabadba, illetve megnő az NO_x emisszió
- az ammónia tárolása és adagolása biztonsági és környezetvédelmi problémát jelent
- károsodhat a regenerátor tűzállóanyaga.

3.3.3 Az SO_x kibocsátás csökkentésének lehetőségei

Az SO_x kén-dioxidot (SO₂) és SO₂ ekvivalensben megadott kén-trioxidot (SO₃) jelöl. Az üvegipari kemencék füstgázában szinte kizárólag SO₂ van jelen, a kis mennyiségű (kisebb mint 0,35 %) SO₃ 200 °C alatti hőmérsékleten gőz, vagy sav-köd formájában jelenik meg. A kén-oxidok egyrészt a fűtőanyagból, másrészt a keverékben lévő anyagok bomlásából származnak, és a füstgázban lévő egyéb vegyületekkel reakcióba lépve port képeznek. Mészalkáli üvegnél a por-emisszió kb. 98 %-át a szulfátok teszik ki. A villamos fűtésű kemencéknél az SO₂ emisszió kicsi, és kizárólag a nyersanyagok bomlása során keletkezik. Az ásványgyapotot gyártó kúpoló-kemencék redukáló atmoszférájában a fűtőanyagból, illetve a nyersanyagból származó kén SO_x és H₂S formában van jelen, és így is távozik a kemencéből. Az EU-ban üzemelő berendezésekben az ilyen füstgázokat utóégetéssel kezelik, aminek során a H₂S SO₂-vé oxidálódik.

3.3.3.1 A fűtőanyag megválasztása

Olajtüzelésnél az SO_x elsősorban az olaj kén-tartalmából származik. Különböző kén-tartalmú fűtőolaj áll rendelkezésre: < 1 %, < 2 %, < 3 % és > 3 %. A földgáz gyakorlatilag kénmentes. Tájékoztatásul a különböző fűtőanyagok SO_x emissziója mészkáli üveg olvasztásánál:

Fűtőanyag megnevezése	SO _x (SO ₂ -ben megadva) mg/m ³
földgáz	300 – 1 000
1 % kén-tartalmú fűtőolaj	1 200 – 1 800
2 % kén-tartalmú fűtőolaj	2 200 – 2 800

A földgáztüzelés kisebb SO_x emissziójával 25-40 %-al nagyobb NO_x kibocsátás jár együtt. A fűtőanyag kiválasztását ezen túlmenően annak ára is befolyásolja. A földgáztüzelés általában elterjedt az üvegiparban.

A kisebb kén-tartalmú olajra való áttérés semmilyen változtatást nem igényel sem a kemencén, sem az égőrendszeren. A földgázra való átállás viszont az ellátó-, biztonsági-, és égőrendszer átépítését igényli.

3.3.3.2 A keverék-összetétel megváltoztatása

A keverék-összetétel meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy a leggyakrabban nátrium-szulfátot alkalmaznak tisztulást elősegítő anyagként, illetve oxidáló szerként, amely az olvasztás során SO_x-re és az üveg szerkezetébe beépülő Na₂O-ra bomlik. Hasonlóan bomlik el a kálium- és kalcium-szulfát is. Nagyon fontos, hogy szulfátot csak a feltétlenül szükséges mennyiségben használjanak. Tisztulást elősegítő anyagként és oxidáló-szerként szulfátot alkalmazva, az SO_x emisszió 200-800 mg/Nm³, ami 0.2-1,4 kg/1 tonna üvegnek felel meg.

Az ásványgyapot és salakgyapot gyártásánál keletkező SO₂ a kokszból, a kohósalakból és a cementkötésű brikettből származik. A salak 0.6-1,5 súly% ként tartalmaz, amelyből H₂S és SO₂ keletkezik. A kén-tartalom ellenére salakot továbbra is alkalmazni fognak, a következő előnyök miatt:

- a mészkövet salakkal helyettesítve energia takarítható meg és csökken az emisszió
- kevesebb vasat tartalmaz, ennek következtében ritkábban kell csapolni, javul a kihozatal
- javul az olvadék szálképző tulajdonsága
- a kohósalak hulladék, amit egyébként tárolni kell
- a salak olcsóbb, mint azok az anyagok, amelyeket helyettesít.

A salak használatával együtt járó nagyobb SO_x emisszió másodlagos tisztító eljárással jelentősen csökkenthető.

A cementkötésű brikett kén-tartalma általában 0,16 %. A brikett részaránya a keverékben elérheti a 45 %-ot.

3.3.3.3 Száraz és félszáraz leválasztás

A száraz és a félszáraz leválasztás alapelve azonos: a füstgázba abszorbens anyagot vezetnek be, ill. oszlatnak el. Az abszorbens anyag reakcióba lép az SO_x-el, és azzal szilárd anyagot képez, ami elektrosztatikus vagy zsákos porszűrővel leválasztható. Az alkalmazott reagens az SO_x-en túlmenően más savas gázokat – elsősorban a HCl-t és HF-et – továbbá bizonyos szelén vegyületeket is megköt. A reagens anyagot közvetlenül be lehet fújni a füstgáz-vezetékbe, de hatékonyabb az eljárás reakció-torony (száraz eljárás), illetve reakciókamra (félszáraz eljárás) alkalmazása esetén.

Az abszorbens száraz eljárásnál Ca(OH)₂ vagy NaHCO₃ illetve Na₂CO₃ por, félszáraz eljárásnál pedig Na₂CO₃ vagy CaO illetve Ca(OH)₂ vizes oldata vagy szuszpenziója. A víz elpárolgása egyben hatékonyan hűti a füstgázt.

Az abszorpció hatékonysága függ a reagens mennyiségétől, a füstgáz összetételétől, a reakció hőmérsékletétől, az abszorbens fajlagos felületétől, és a tartózkodási időtől. Legtöbbször a sztöchiometrikusnál több abszorbenst használnak. Az üvegiparban általában a száraz eljárást alkalmazzák elektrosztatikus porleválasztóval, a reagens Ca(OH)₂ és az abszorpció hőmérséklete mintegy 400 °C. Zsákos porszűrő alkalmazása esetén a füstgázt kb. 200 °C hőmérsékletre kell lehűteni, a hőmérséklet csökkenésével viszont rohamosan csökken az abszorpció hatékonysága, amely a 200-280 °C hőmérséklet-tartományban éri el a minimumát. 200 °C alatti hőmérsékleten – ami a zsákos porszűrők működési tartománya – az abszorpció ismét hatékony, egyes esetekben hatékonyabb, mint 400 °C -on.

A száraz eljárás hatékonysága Na₂CO₃ abszorbenssel 300 °C – 400 °C hőmérséklet-tartományban:

Szennyezés	SO _x megkötés hatékonysága
SO ₂	< 50 %
SO ₃	90 %
HCl	50-75 %
HF	10-40 %

SeO ₂	30-60 %
------------------	---------

A ritkábban alkalmazott félszáraz eljárás hatékonysága Na₂CO₃ abszorbenssel, és a zsákos porszűrő által megkívánt alacsony hőmérsékleten:

Szennyezés	SO _x megkötés hatékonysága
SO ₂	90 – 95 %
HCl	> 90 %
HF	> 85 %
SeO ₂	> 90 %

A félszáraz eljárásnál alkalmazott Na₂CO₃ és NaHCO₃ hatást gyakorol az NO_x emisszióra is, az üvegipari tapasztalatok szerint azonban az nem csökken jelentősen. Az optimumot 120 °C – 160 °C hőmérsékleti tartományban tapasztalták.

A porleválasztóban összegyűlő, port részben vagy egészben, újra fel lehet használni az üvegkeverék készítésénél. A szűrőben összegyűlt por újra felhasználása esetén, földgáztüzelésnél az SO_x emisszió 200-800 mg/Nm³, olajtüzelésnél pedig 800-1600 mg/Nm³.

Kevés üvegcsereppel végzett olvasztásnál a leválasztott por nem elegendő, a keverékbe további szulfátot kell bevinni. Sok cserepet használva, olajtüzelésnél viszont több a leválasztott szulfát-por, mint amennyi a keverékbe visszaadagolható, így annak elhelyezéséről gondoskodni kell. Ennek az elhelyezése általában többbe kerül, mint a kisebb kén-tartalmú olajra való áttérés. Kalcium-hidrát abszorbens használatánál a leválasztott port csak korlátozottan lehet újra felhasználni a keverékkészítésnél.

Ásványgyapot gyártásánál az SO_x leválasztást az utóégető és a szűrő közé kell beépíteni. Egy 6 kupolókemencével működő gyárban kísérletképpen kén-savat állítottak elő a száraz eljárással leválasztott SO_x-ből, de az egész rendszer nem bizonyult gazdaságosnak. Kőzetgyapot-gyártásnál eredményesen alkalmazzák a venturi-rendszerű gáztisztítót, de a porleválasztás nem olyan hatékony, mint zsákos porszűrő alkalmazásánál.

A száraz és félszáraz SO_x csökkentő eljárások előnyei:

- az SO_x emisszió jelentősen csökkenthető
- egyéb anyagok is kiszűrhetők a füstgázból (kloridok, fluoridok, szelén vegyületek, egyéb savas anyagok, pl. a bór-sav)
- a kiszűrt por újra hasznosítható az üvegkeverékben; csökken a szulfát-tartalmú nyersanyagok felhasználása.

A száraz és félszáraz SO_x csökkentő eljárások hátrányai:

- az eljárás energiát fogyaszt
- egyes esetekben szilárd hulladék képződik (akkor, amikor az összes kiszűrt szulfát-por nem használható fel újra)
- pótlólagos beruházási és üzemeltetési költséget jelent.

3.3.4 A fluoridok (HF) és kloridok (HCl) csökkentésének lehetőségei

A HF és HCl emisszió egyrészt a nyersanyagok szennyező anyagaiból, másrészt azokból az anyagokból származnak, amelyeket bizonyos üvegtulajdonságok biztosítása érdekében adagolnak az üvegkeverékbe. Ezen szennyezőket tartalmazó nyersanyagok:

- az iparilag előállított szóda általában 0,05-0,15 % NaCl-t tartalmaz
- a dolomitban jelentős fluorid szennyezés lehet
- az idegen üvegcserep jelentős mennyiségű kloridot, fluoridot és fémeket tartalmazhat. A nagy cserep-aránnyal dolgozó kemencéknél ezek a szennyező anyagok idővel összegyűlnek az üvegben
- a porleválasztókból származó, újra felhasználásra kerülő porban feldúsulnak a fluorid és klorid vegyületek
- egyes fűtőanyagok (pl. a kocsz) kloridokat is tartalmazhatnak.

A legtöbb fluoridot és kloridot a síküveg- és öblösüveg-kemencék bocsátják ki. A kloridok és fluoridok emisszióját elsősorban a nyersanyagok megfelelő kiválasztásával, valamint az alább felsorolandó módszerekkel lehet csökkenteni:

- a cserep-arány növelése; ily módon csökkenthető az olvasztási hőmérséklet és a csereppel kevesebb – kloriddal szennyezett – szódát kell felhasználni
- villamos-pótfűtés
- jobb kemencekonstrukció és geometria alkalmazása
- az égők elhelyezése
- a légf felesleg csökkentése
- alacsony NO_x kibocsátású égők alkalmazása
- oxigén-tüzelés
- villamos olvasztás.

A fluorid szennyezés a fritt-gyártásnál (mázak, zománcok), valamint az opálüveg-gyártásnál a legjelentősebb. Az emisszió csökkentésére az SO_x megkötésére használt száraz és nedves eljárás alkalmazható, ugyanazokkal az abszorbensekkel.

3.3.5 A szén-dioxid (CO₂) és a szén-monoxid (CO) csökkentésének lehetőségei

A szén-dioxid a fűtőanyagok égése, valamint az olvasztásnál a karbonát nyersanyagok bomlása során keletkezik. A szén-monoxid a tökéletlen égés során keletkezik, de az üvegiparra ez a tüzelési mód nem jellemző. A kúpoló-kemencékből (kőzet- és salakgyapot gyártás) távozik ugyan CO, de ezt utóégetéssel CO₂-vé oxidálják. A szén-dioxid nem tartozik a Directive 96/61/EC annex III-ban felsorolt fő szennyező anyagok közé, annak ellenére, hogy környezetkárosító hatása jól ismert. Csökkentésére az üvegcserep-felhasználás növelése, valamint a karbonátos nyersanyagok más anyagokkal történő helyettesítése nyújt lehetőséget.

3.4 A nem olvasztásból származó levegőszennyezés csökkentése

3.4.1 Az emisszió-csökkentés lehetőségei az öblösüveggyártásnál

Az öblösüveggyártásnál a készre formázott, de még meleg üvegárúra ón- és titán-vegyületeket (SnCl_4 ; TiCl_4 ; $\text{C}_4\text{H}_9\text{SnCl}_3$) fűjnek, aminek eredményeképpen az üvegfelületen vékony fémoxid-réteg alakul ki. Az üvegárú feszültségmentesítése után szintén alkalmaznak felületkezelést, de ennek során csak elhanyagolható környezet-szennyezés lép fel. A meleg oldali felületkezelés során HCl, kloridok, valamint SnO_2 és TiO_2 szennyező anyagok, továbbá a reakcióba nem lépett anyagok jelentik a szennyezést.

A szennyezést jelentő gázok kezelésére a következő eljárások állnak rendelkezésre:

- a szabadba történő kibocsátás jó elosztatással
- az elszívott gáz nedves leválasztóban történő kezelése
- az elszívott gáznak a kemence füstgázába történő bekeverése
- az elszívott gáznak a kemence égéslevegőjébe történő bekeverése

A felsorolt módszerek alkalmazásával a következő emissziós szintek biztosíthatók:

HCl $< 10 \text{ mg/Nm}^3$, szilárd anyag (por) $5\text{-}10 \text{ mg/Nm}^3$, az összes fém $1\text{-}5 \text{ mg/Nm}^3$.

3.4.2 Az emisszió-csökkentés lehetőségei a Síküveg-gyártásnál

A Síküveg-gyártásnál az emisszió kicsi, ha az alkalmazott ónfürdőt és a hűtőszalagot helyesen üzemeltetik. Az üvegszalagot feszültségmentesítés előtt SO_2 -vel kezelik, de helyes üzemeltetés esetén csak jelentéktelen mennyiségű SO_2 kerül ki a rendszerből.

Más a helyzet akkor, ha a síküveg felületén SiCO alaprétegből és fluor-tartalmú ón-oxid fedőrétegből álló bevonatot képeznek. A felhasznált anyagok: ón-tetraklorid (SnCl_4), folyosav (HF), metanol (CH_3OH) és szilán (SiH_4). Az alapréteg kialakításánál keletkező gázt utóégetőben kezelik. Az utóégetés hatására a gázban lévő szerves anyagok elbomlanak, és a bomlástermékeket – a gáz kellő lehűtése után – zsákos porszűrővel leválasztják. Az összegyűjtött port visszaadagolják a kemencébe.

A fedőréteg készítésénél keletkező fluoridokat és ón-vegyületeket tartalmazó gázt magas hőmérsékleten üzemelő reaktorba vezetik, ahol az ón-vegyületek oxidálódnak. A szilárd ón-oxidot elektrosztatikus leválasztóban szűrik ki, a fluoridokat pedig kémiai úton kötik meg. Az elérhető emissziók a következők:

- por: 15 mg/Nm^3
- HCl: 5 mg/Nm^3
- HF-ban kifejezett fluor-vegyületek: $< 1 \text{ mg/Nm}^3$
- fémszennyezés: $< 5 \text{ mg/Nm}^3$

3.4.3 Az emisszió-csökkentés lehetőségei a háztartási és egyéb (különleges) üvegek gyártásánál

A háztartási edényárú gyártása során alkalmazott (általában gyémánt szerszámokkal végzett) vágás és csiszolás illetve polírozás okoz környezetszennyezést. A vágás és csiszolás során a

szerszámokat általában vízzel hűtik, így porzás nincs, de a keletkező port a hűtővízből ki kell szűrni.

A sav-polírozásnál folyosavat és kén-savat alkalmaznak, és a művelet során H_2SiF_6 képződik. A savfényezés után a folyadékot kémiai kezeléssel semlegesíteni kell. A savfényezést lángpolírozással, lézerpolírozással vagy mechanikus polírozással célszerű helyettesíteni.

3.4.4 Az emisszió-csökkentés lehetőségei az üveg- és ásványgyapot gyártásánál

Az üveg- és ásványgyapot gyártásánál a következő műveletek során képződnek káros anyagok: szálképzés fenol-gyanta bevonással, a gyanta hőkezelése, a termék megmunkálása és a csomagolás.

3.4.4.1 A szálképzésnél keletkező káros anyagok csökkentése

A szálképzésnél a fenol-gyanta mellett vizet is permeteznek az elszívó vezetékbe, illetve az elszívó ventilátorba. A vízpermet egyrészt megakadályozza a szálas anyagoknak az elszívó vezetékben történő lerakódását, ill. feltapadását, másrészt a gázáramból szilárd anyagot és gázkomponenseket is kimos. A kúpoló kemencék (ásványgyapot) rövid élettartama miatt az anyaglerakódás az elszívó vezetékben nem okoz nehézséget, (tisztítható), ezért itt a vízbepermetezést nem alkalmazzák. A szálképzésből származó gáz szilárd szemcséket (szerves és szervetlen anyagok), fenolt, formaldehidet és ammóniát tartalmaz. A gáz a környezeti hőmérsékletnél melegebb, és vízbepermetezés esetén vízgőzzel telített. A kibocsátást a következők befolyásolják:

- a kötőanyag kémiai összetétele
- a szálképzési módszer
- üzemi paraméterek (hőmérséklet, levegőmennyiség, víz)
- a kötőanyag mennyisége
- a kötőanyag felhordásának módja.

Ezen paraméterek optimalizálásával a károsanyag-emisszió jelentősen csökkenthető. A kötőanyag helyes megválasztása és alkalmazása ezen túlmenően a végtermék árát is jelentősen befolyásolja.

A kötőanyag: víz, fenol-gyanta, (trimetil-fenol, dimetil-fenol, formaldehid keverék), karbamid, ammónium-szulfát, ammónia, szilán, ásványolaj és szilán keveréke, amely esetenként egyéb komponenseket is tartalmazhat.

A karbamid redukálja a szabad formaldehidet és javítja a késztermék hőállóságát. Hátránya viszont az, hogy csökkenti a gyanta vízdoldhatóságát, továbbá ammóniát szabadít fel mind a szálképzésnél, mind a hőkezelés során. Környezetvédelmi szempontból mégis a lehető legtöbb karbamid alkalmazása célszerű, mert csökkenti a formaldehid-emissziót, fenolt helyettesít, és bomlási termékei kevésbé károsak, mint a fenol bomlási termékei, és a tökéletlen elégségből származó anyagok.

Az ammónia növeli a kötőanyag vízdoldhatóságát, reakcióba lép a szabad formaldehiddel, és biztosítja a megfelelő pH értéket a rendszerben. Az ammónium-foszfát a gyanta kötését segíti. A szilán a szervetlen üveg és a szerves kötőanyag közötti kapcsolatot biztosítja. A szilikon- és ásványolaj a késztermék kezelhetőségét javítja, csökkenti a por képződését, és növeli a termék víztaszító képességét.

A kötőanyagot finom spray formájában juttatják a szálas anyag felületére. A szállal nem érintkező cseppek az elszívó légáramba kerülnek. Az elszívott kötőanyag mennyisége függ a porlasztás finomságától, az elszívás intenzitásától, valamint a szálasanyag-szalag vastagságától. A fenol-gyantát eddig még nem sikerült más kötőanyaggal helyettesíteni.

A folyamatos üveggyapot-gyártásnál biztosítani kell azt, hogy az elszívó rendszerben, a szálképzés helyéről elszívott gázból lerakódó anyag ne tömje el a vezetéket és az elszívó ventilátort. A kúpoló kemencében történő ásvány-gyapot gyártásánál erre nincs szükség, mert a kúpoló kemencét gyakran (1-3 hét) le kell állítani, és ekkor a lerakódások eltávolíthatók. A szálképzés helyéről elszívott gázba vizet fújva be, és az így előállított (víz – elszívott gáz) keveréket ütköztetve, majd ciklonba vezetve, a gázból a víz és a szilárd anyagok leválaszthatók. A víz egyes gázkomponenseket is kiold a gázból. A gáz abszorpciója függ az elnyelendő gáz parciális nyomásától és a vízben való oldhatóságától, az érintkezési felület nagyságától, továbbá az érintkezés idejétől. Ha az elszívott gáz megfelelően meleg, jelentős kondenzáció is felléphet. A leválasztott anyagokat tartalmazó vizet szűrés után újra befecskendezik, így a vízben oldott anyagok idővel egyensúlyba kerülnek. Mivel a vízbefúvással csak kis nyomásesés állítható elő, mind az ütköztetéses, mind a ciklonos leválasztás hatásfoka csekély.

A **nedves gázmosó** berendezés mind a szilárd szemcsék, mind a gázok kiszűrésére alkalmas. Annak ellenére, hogy a szilárd szemcsék kiszűrése és a gáz tisztítása egymástól eltérő gázmosókat igényel, a mindkét emisszió csökkentésére alkalmas kombinált gázmosó BAT-nak tekinthető eljárás. A hatékonyság növelésére a gázmosókat nagy felületet biztosító töltettel, gáz- és folyadék-elosztóval és cseppfogóval szerelik fel. A folyadék a tölteten filmet képez, amely nagy érintkező felületet biztosít a gáz és a folyadék között. A tisztítandó gáz a tölteten keresztül áramlik, a folyadékkal szemben, azonos, vagy kereszt irányban. A töltet lehet rendezett, vagy rendezetlen halmaz. Az ellenáramú gázmosó biztosítja a legjobb abszorpciót, mert a távozó gáz a friss mosófolyadékkal találkozik. A mosótorony töltete az oldhatatlan anyagok felhalmozódása, a töltet anyagának aprózódása, vagy biológiai képződmény révén eltömődhet.

Gyakran alkalmaznak **venturi gázmosót** is. Ennek lényege az, hogy a gázvezeték beszűkül, és a torokban megnő a tisztítandó gáz sebessége. A mosófolyadék a cső falán filmet képez, amit a torokban a nagy sebességgel áramló gáz elporlaszt. A szilárd szemcsék kimosása igen hatékony, még az 1 mikronnál kisebb szemcséket is le lehet választani, viszont a venturimosó sok energiát fogyaszt, azaz drága az üzemeltetése. A gázkomponensek abszorpciója a rövid érintkezési idő következtében nem jelentős. A töltettel ellátott nedves gázmosó elé gyakran építenek be gáz sugar ütköztetéses leválasztót vagy ciklont, a durva szennyezések leválasztására.

Az **ionizációs gázmosó (IWS)** a kis beruházási költséget igénylő gázmosó torony és az olcsón üzemeltethető elektrosztatikus leválasztó kombinációja. A gázmosó egy műanyag-töltettel ellátott, és villamos töltés nélkül üzemelő tér, amelyet egy ionizációs rész követ, ahol a részecskék elektrosztatikusan feltöltődnek és kiválnak. A gázmosóban általában a megfelelően tisztított vizet keringtetik, bár ennek hatékonysága kisebb, mint a friss, tiszta vízé. A mosóból kikerülő vízben lévő fenolt, formaldehidet és ammóniát megfelelő vegyszeres kezeléssel kell eltávolítani.

A **nedves elektrosztatikus porleválasztóban** az elektróda felületén összegyűlt port szakaszosan, vagy folyamatosan bepermetezett folyadékkal – általában vízzel – mossák le. Nedves üzemre a következő típusú EP-k alkalmasak: lap-huzal, lap-lap, cső-huzal elektródákkal üzemelő berendezések. A nedves EP jó eredménnyel alkalmazható harmatpont körüli hőmérsékletű, nedves gázban lévő porok, aeroszolok, gyanta- és kátrányszerű ragadós

anyagok kiszűrésére. A leggyakrabban alkalmazott EP típusok: lap-huzal illetve a cső-huzal elektróda elrendezésű berendezések. Az esetleges tűz (szerves anyagok) eloltására a nedves EP vízzel árasztható el. A töltéssel rendelkező elektródák között a gázt egyenletesen kell elosztani, és kis áramlási sebességet kell biztosítani.

A nedves EP a 0,01-10 µm méretű aeroszolókat hatékonyan választja le. A hatásfok 1 µm felett több, mint 98 %, ez az érték azonban 1 µm-nél kisebb méret esetén kevesebb lesz. A leválasztás hatékonysága nagy mértékben függ a szűrendő gáz sebességétől, a berendezés életkorától, illetve a karbantartás minőségétől. A gázkomponensek kiszűrése messze nem ilyen hatékony, és csak tiszta vízzel történő mosás esetén van némi abszorpció.

A nedves EP előnyei:

- a szilárd szemcsék és aeroszolok/cseppek hatékony leválasztása, 20 mg/m³-nél kisebb emisszió érhető el
- nagy telítettség esetén, tiszta mosóvízzel a gázkomponensek abszorbeálhatók
- mind a szálképzésnél, mind a hőkezelésnél keletkező gázok tisztítására alkalmas
- kis áramlási ellenállás, kis energiafelhasználás, következésképpen olcsó üzemeltetés
- ütköztetéses elő-leválasztás (nagy méretű szálak kiszűrése) esetén ritka az eldugulás
- hosszú élettartam és kis karbantartási igény.

A nedves EP hátrányai:

- szennyezett víz keletkezik, amely nem minden esetben használható újra
- energiát fogyaszt
- viszonylag drága beruházás
- nagy a helyigénye
- kevés karbantartást igényel, de az igen fontos
- nagyfeszültség miatt biztonsági intézkedések szükségesek.

A hagyományos zsákos porszűrő nem alkalmas a szálképzésnél illetve a hőkezelésnél keletkező gázok szűrésére, mert a nedvességtartalom miatt hamar eltömődik. Alkalmazható viszont az **ásványgyapot**-lapokból álló **szűrő**, amely lapokat fém-, vagy betontartókra helyeznek el. Ez a szűrő hatékonyan választja le a port és a folyadékcseppeket, de a gázkomponensekkel szemben hatástalan. A szűrés során az ásványgyapot-szűrő telítődik, az áramlási ellenállás megnő, ezért időnként cserélni kell. Az eltömődött gyapot brikettálva újra hasznosítható, azaz beadagolható az olvasztó kemencébe. Ezt a szűrőtípust elsősorban ásványgyapot gyártásánál használják, üveggyapot gyártásánál nem használják.

Az ásványgyapot-szűrő előnyei:

- hatékony szűrés; 20 mg/m³-nél kisebb emisszió érhető el
- brikettálással a használt szűrő visszaadagolható a kemencébe
- nem keletkezik szennyezett víz
- olcsó beruházás
- kevés energiát fogyaszt és kevés karbantartást igényel.

Az ásványgyapot-szűrő hátrányai:

- a nyomásesés miatt energiát fogyaszt
- a gázkomponensek megkötésére nem alkalmas
- üveggyapot gyártásánál nem alkalmazható.

3.4.4.2 A hőkezelésnél és hűtésnél keletkező káros anyagok csökkentése

A nedves üveg- ill. ásványgyapot 250 °C-os **hőkezelő** kemencébe kerül, ahol az illó anyagok eltávoznak, és a kötőanyag megköt. A kemence hőmérséklete és az abban való tartózkodási idő igen fontos; a kötőanyagnak meg kell kötnie, de nem szabad az anyagot túlhevíteni, mert károsodik.

Az üveggyapotnál több kötőanyagot használnak, mint az ásványgyapotnál, ezért a hőkezelő kemencéből nagyobb az emisszió, és a távozó gázok szaganyagot is tartalmaznak. A hőkezelő kemencék általában gáztüzelésűek, és elszívással üzemelnek. A távozó gáz a kötőanyag illó komponenseiből, a kötőanyag bomlási termékeiből és az égők füstgázából áll. A hőkezelő kemencéből kiáramló anyagok potenciális tűzveszélyt jelentenek (szerves anyagok), ezért vagy vizet porlasztanak az elszívott gázba, vagy utóégetőbe vezetik. Vízbefecskendezés esetén a leválasztásra a szálképzésből elszívott gázok tisztítására használt berendezéseket (gázmosó torony, nedves EP) alkalmazzák. A gázok utóégetéses tisztítására két módszer használatos: a 750 °C-nál nagyobb hőmérsékletű termikus bontás, vagy 350-400 °C –on végzett katalitikus lebontás. Az elszívott gáz termikus bontása során CO₂ ; víz ; SO_x és NO_x ill. egyéb égéstermék keletkezik. A hatékony gázkezelés feltételei:

- A 99 %os lebontás előfeltétele, hogy a tisztítandó gáz legalább 1-4 s ideig tartózkodjon a megfelelő hőmérsékleten.
- A hőmérséklet 200-400 °C-al haladja meg a legstabilabb komponens komponens öngyulladás hőmérsékletét; az utóégetéses kezelés üzemi hőmérséklete általában 800 °C. Ha a gáz aromás, és klorid-vegyületet is tartalmaz, a hőmérsékletet 1100-1200 °C-ig növelni kell. A dioxin-képződés elkerülésére a kezelt gázt gyorsan le kell hűteni.
- A megfelelő hőtadás és anyagátadás érdekében az égető-kamrában erős turbulenciát kell biztosítani.

A gyanta-tartalom miatt a katalizátorral végzett gáztisztítás nem célszerű, mert a gyanta hatástalanítja a katalizátort. A megfelelően méretezett és üzemeltetett utóégető hatásosan bontja le a szerves anyagokat: a berendezésből távozó gáz szervesanyag-tartalma kevesebb, mint 10 mg/m³.

Az utóégetéses gáztisztítás előnyei:

- nagyon hatékonyan bontja le a szerves szennyező és szaganyagokat
- nem képződik sem szilárd, sem folyékony hulladék
- a berendezés beruházása olcsó.

Az utóégetéses gáztisztítás hátrányai:

- pótlólagos energiát igényel
- CO₂ és NO_x keletkezik
- a szerves szennyező anyagokat nem szűri ki
- üveggyapot gyártásánál az eljárás drága.

Az üveg- és ásványgyapot hőkezelés utáni **hűtése** sok levegőt (10 000-40 000 m³/h) igényel, és a távozó levegő szilárd szemcséket, kis mennyiségű kötőanyagot tartalmaz, és általában szaga van. Ennek a hűtőlevegőnek a tisztítására 3 módszert alkalmaznak:

- a port szűrővel választják le, és nagy sebességgel, magasan fújják a szabadba a szag miatt
- nedves gázmosó (venturi gázmosó)
- a szálképzéstől vagy a hőkezelő kemencétől elszívott gázhoz keverik, és azzal együtt tisztítják.

3.4.4.3 A megmunkálásnál és csomagolásnál keletkező káros anyagok csökkentése

Az üveg- és ásványgyapot darabolása, méretre vágása és csomagolása során por keletkezik, ezért elszívásról és hatékony porszűrőről (zsákos porszűrő) gondoskodni kell.

Az üveg- és ásványgyapot előállítását végző gyárakban és azok környékén általában „bakelit-szagot” lehet érezni, amit a környéken lakók egyre jobban kifogásolnak. A kúpoló kemencékből gyakran távozik kimondottan rossz szagú kén-hidrogén, amit utóégetéssel lehet megszüntetni. A szagok megszüntetésének hatékony módja a vízzel történő gázmosás.

3.4.5 Az emisszió-csökkentés lehetőségei a kerámiaszál gyártásánál

A kerámiaszál gyártásánál a károsanyag-emisszió hasonló az üveg- és ásványgyapot gyártásánál ismertetett emisszióval. Következésképpen a csökkentés lehetőségei és módszerei is hasonlóak. Megfelelő szűréssel 1-5 mg/Nm³ értékű emisszió biztosítható.

3.4.6 Az emisszió-csökkentés lehetőségei az üvegfritt-gyártásnál

Az üvegfritt-gyártás általában nem okoz környezetszennyezési problémákat (vízben történő frittelés, nedves örlés). Amennyiben a frittet szárazon őrlik meg, por képződik, amelyet megfelelő elszívással és szűréssel kell leválasztani.

3.5 A vízszennyezés csökkentése

Az üvegipar nem jelentős vízszennyező. Az üveggyártásból távozó víz – a hagyományos szennyvíztől (konyha, fürdő stb.) eltekintve – üvegport, kevés olajszennyezést, oldható üvegipari nyersanyagokat, (pl. nátrium-szulfát), valamint vízlágyító anyagot (hűtésnél) tartalmaz. A szennyezett víz eredete:

- a felszínről lefolyó víz
- a nyersanyagok tárolásából kikerülő anyagok
- a szennyezett területekről a csatorna-hálózatba jutó víz
- a kész üvegárú mosásából származó víz
- a hűtőrendszerből elszivárgó víz
- a nedves leválasztókból és gázmosókból származó víz.

A szennyezett víz tisztítására az üvegiparban használt eljárások a következők: ülepités, olajleválasztó, semlegesítés, lefölezés, levegőztetés, kicsapatás, koaguláció. Az esetlegesen alkalmazott biológiai vízkezelés: aktivált iszap, bioszűrés.

Az üvegyártáson belül az üveg- és ásványgyapot-gyártás a legnagyobb vízszennyező. Ennek körülményeit az előzőekben részleteztük.

3.6 Egyéb hulladékok csökkentése

Az üveggyártás során nem keletkezik jelentős mennyiségű szilárd hulladék.

A nyersanyagok tárolása, szállítása, keverése során elszóródó anyag összegyűjtve általában újra felhasználható. A korszerű berendezések alkalmazásával, oly mértékben szennyezett anyag, vagy hulladék, amely nem használható fel újra, gyakorlatilag nem keletkezik.

A füstgázból kiszűrt por általában újra felhasználható; a tároló helyen történő elhelyezés ritka.

A regenerátorok rácsában összegyűlő, és időnként eltávolított anyagot viszont nem lehet újra felhasználni; annak megfelelő tárolásáról gondoskodni kell.

A megolvasztott, de késztermékké nem feldolgozott üveg a termelési folyamat megzavarásakor (üvegszín-váltás, formacsere, vagy az üvegminőség romlása esetén) keletkezik. A kemencéből kifolyatott üveget általában vízben frittelik és üvegcserepként újra beadagolják a kemencébe. Kivételt képez az az eset, amikor az üveget üveghiba (olvadatlan, kő, tűzállóanyag darabok stb.) miatt folytatják, mert ez esetben a visszaadagolt üvegcserep újabb üveghibát okoz.

Üveg- és ásványgyapot hulladékot csak brikettálva lehet a kúpoló kemencébe visszaadagolni, mert a kezeletlen gyapot eltömi a kemencét. A gyapot-hulladék felhasználásánál figyelembe kell venni annak szervesanyag-tartalmát (kötőanyag), és ennek a megfelelő oxidációját biztosítani kell.

Az öblösüveggyártásnál keletkező (nem megfelelő méretű) és a síküveg-gyártásnál keletkező (az üvegtábla széle: bortni, méretre vágás) hulladékot megőrölve adagolják vissza a kemencébe.

Az üveggyártás során keletkező szennyezett vízből kiszűrt anyagokat általában nem lehet újra hasznosítani. Az elhelyezés drágulása miatt az ólom-üveg vágása, csiszolása, polírozása során keletkező, és a vízből kiszűrt, ill. a porszűrőkből származó anyagok újra hasznosítása egyre gazdaságosabbá válik.

3.7 Az energiafelhasználás csökkentése

Az üveggyártás igen energiaigényes tevékenység. Az olvasztás igényli a legtöbb energiát, az összes energiafogyasztás kb. 75 %-át. Mindeddig az energia kiválasztásánál főleg a beszerzési költség alapján döntöttek, a jövőben azonban egyre nagyobb szerepet fog játszani az energiával együtt járó környezetszennyezés, illetve annak költségkihatása (CO₂ ; SO₂ ; NO_x ; por emisszió).

Az olvasztás és **kemence-konstrukció** egyrészt a költségek, másrészt a környezetvédelem egyre növekvő fontossága miatt, folyamatosan fejlődik. Általános gyakorlat, hogy a kemencék hő-hasznosító berendezései (főleg a regenerátorok) egyre nagyobbak, és egyre korszerűbb (egyben drágább) anyagokból épülnek. A regenerátor-rácsokat egyre gyakrabban építik öntött tűzállóanyag-idomokból (fazék-, kereszt-, és egyéb idomokból), mert így a rács több kemence-periódust is kibír. A regenerátoros hő-visszanyerés elméleti maximális hatásfoka 80 %, a gyakrabban elérhető hatásfok 70-75 %. Másik tendencia a **kemencék** egyre tökéletesebb **szigetelése**. E két tendencia eredményeképpen csökken az üvegolvasztás fajlagos energia-felhasználása, következésképpen csökken a tüzelésből származó károsanyag-

emisszió. Az élettartam növekedése, azaz a ritkább átépítések következtében kevesebb bontási anyagot kell tároló helyeken elhelyezni (az elhelyezés egyre drágább).

Földgáztüzelésnél a láng sugárzó képessége kisebb, következésképpen itt nagyobb a láng hőmérséklete, mint olajtüzelésnél, ezért több NO_x képződik, viszont az SO_x emisszió csökken. Az NO_x kibocsátást a pontos **tüzelésszabályozással** (sztöchiometrikus gáz/levegő arány) lehet csökkenteni. A környezetszennyezési bírságok miatt várhatóan egyre költségesebb, bonyolultabb tüzelési rendszereket ill. tüzelésszabályozást fognak alkalmazni az üvegiparban.

Az **üvegcserep-felhasználás** csökkenti az olvasztási hőmérsékletet, és így energia-megtakarítást tesz lehetővé; 10 % üvegcserep-növelés 2,5-3,0 %-al csökkenti az energia-felhasználást. Az öblösüveg gyűjtése és újra felhasználása – annak ellenére, hogy az idegen cserep nem kedvező az üvegminőség szempontjából – jelentősen kíméli a környezetet. Igen fontos a begyűjtött öblösüvegek (palackok) szín szerinti szétválogatása, mert a színes üveg nem színteleníthető. Energia-megtakarítás szempontjából kedvező az, hogy az üvegcserepet könnyebb előmelegíteni, mint a nyersanyag-keveréket.

Az üvegcserep olyan nyersanyagokat helyettesít, amelyekből az olvasztás során CO₂ és SO_x keletkezik (karbonátok és szulfátok). A begyűjtött cserep felhasználásánál számolni kell viszont a megnövekedett HCl és HF emisszióval, valamint a fém-szennyezéssel (kupakok, fém-fólia stb.) A fém-szennyezés elsősorban a tűzállóanyagok korrózióját növeli jelentősen. Az esetleges kerámia-szennyezés üveghibát okoz. Az összegyűjtött üvegeken lévő papír címkék, étel- és itamaradékok, műanyagrészek megváltoztatják a kemence redox egyensúlyát, és így – végeredményben – rontják az üveg minőségét. Az alumínium (kupakok, fólia stb.) a kemencében olyan erős redukáló hatást fejt ki, hogy az SiO₂-t fém szilíciummá redukálja. A fém szilícium az üvegben apró cseppenként jelenik meg, és jelentősen rontja a kész üvegtermék szilárdságát.

Az üvegolvasztó kemencék távozó **füstgázának** (300°C-600°C) **hőtartalmát hasznosító kazánok** nem befolyásolják a károsanyag-emissziót. Ezekben a kazánokban hőt fejlesztenek, ami fűtésre, a fűtőolaj melegítésére, áramfejlesztésre, vagy kompresszorok hajtására használható. A kazán csöveiben általában az üveg összetételétől függő (főleg nátrium-szulfát) anyag rakódik le, amelyet rendszeresen el kell távolítani. Porleválasztó után beépített kazánban természetesen kevesebb anyag rakódik le. Az áramfejlesztés csak nagy méretű kemencéknél, ill. rekuperátor után gazdaságos. Hő-hasznosító kazánt oxigén tüzelésnél is alkalmaznak, mivel ennél a tüzelésnél más hő-hasznosítás nincsen.

A keverék és üvegcserep előmelegítése szintén csökkenti az energia-felhasználást, és ezáltal az égésnél keletkező káros anyagok emisszióját. A **keverék és üvegcserep közvetlen előmelegítése** kereszt-áramban történik. A regenerátorból érkező füstgázzal, a speciálisan kialakított előmelegítőben 400 °C-os előmelegítés érhető el. Az előmelegítőt megkerülő vezetékkel látják el, amelyre akkor van szükség, ha az előmelegítést valamilyen okból szüneteltetni kell. A fellépő jelentős porzás miatt elszívást és szűrést kell alkalmazni. A szűrőben összegyűlt port vissza lehet adagolni a keverékbe.

A **közvetett előmelegítésnél** a keverék/üvegcserep, függőleges csövekben, súlyánál fogva csúszik lefelé 1-3 m/h sebességgel. A füstgáz (vízszintes terelő lemezekkel irányítva) keresztirányban áramlik a csövek között. A füstgáz alul lép be a hőcserélőbe, és többszöri keresztirányú átáramlás után, felül távozik. A berendezésben a füstgáz 270-300 °C-ra hűl le, a keverék/cserép pedig kb. 300 °C-ra melegszik fel.

Az **Edmerton EGB szűrő** egy EP és egy cserep-előmelegítő kombinációja. A port tartalmazó meleg füstgáz a berendezés tetején lép be, és először ionizációs kamrán halad keresztül, ahol a porszemcsék feltöltődnek, majd áthalad a cserephalmazon, amely nagyfeszültséggel

polarizált. Az üvegcserép felülről lefelé csúszik, miközben előmelegszik, és a felületére lerakódik a füstgázban lévő por. A 400 °C-ra előmelegített üvegcserép és leválasztott por keverékét beadagolják a kemencébe.

A keverék és üvegcserép előmelegítésének előnyei:

- az energia-megtakarítás 10-20 %
- az olvasztási hőmérséklet csökkenése, és a kevesebb fűtőanyag-felhasználás következtében csökken az NO_x emisszió
- a közvetlen előmelegítésnél a savas komponensek csökkenését tapasztalták (SO₂ 60 % ; HF 50 % ; HCl 90 %), a koncentrációt az üvegcserép előmelegítése előtt ill. után mérve.

Az előmelegítés abban az esetben valósítható meg, ha a cseréparány több, mint 50 % A cserép nélküli keverék előmelegítése jelenleg nem megoldható. A cserép-előmelegítőt – a hőveszteségek csökkentése céljából – célszerű az adagoló-géphez a lehető legközelebb elhelyezni. Az anyagfeltapadás miatt az előmelegítőbe belépő füstgáz hőmérséklete nem lehet több, mint 600 °C.

4 BAT-nak tekinthető technikák az üvegipar egyes területein

Ebben a fejezetben megadott emisszió-adatok a következő alap-állapotra vonatkoznak:

Olvasztó kemence füstgázánál:

- száraz gáz
- hőmérséklet 273 K
- nyomás 101,3 kPa
- folyamatos üzemű kemencéknél 8 (térfogat)% O₂
- szakaszos üzemű kemencéknél 14 (térfogat)% O₂
- oxigén-tüzelésnél az emisszió az üvegre vonatkozik.

Egyéb gázoknál (beleértve a szárító és hőkezelő kemencéket, de utóégetés nélkül):

- hőmérséklet 273 K
- nyomás 101,3 kPa
- oxigén és vízgőz korrekció nélkül.

A megadott emisszió-értékek 30 percnél hosszabb, de 24 óránál rövidebb mérés átlagértékei. A mg/m³-ben megadott emisszió a környezet terhelésére, a gyártott üveg tömegére vonatkoztatott emisszió pedig az alkalmazott technikára ad információt. A kétféle módon megadott emisszió közötti összefüggést fejezi ki a **konverziós tényező**, amely a következőképpen számítható:

tömegre vonatkoztatott emisszió (kg/tonna üveg) =

$$= \text{konverziós tényező} \times \text{emisszió koncentráció (mg/Nm}^3\text{)}$$

A konverziós tényező = $(Q / P) \times 10^{-6}$

ahol:

Q = a távozó gáz mennyisége (Nm³/h)

P = a termelt üveg tömege (tonna üveg/h)

Az emisszió és a tömeg közötti összefüggést a következő tényezők befolyásolják:

- a kemence típusa (levegő-előmelegítés mértéke, olvasztási technika)
- a gyártott üveg (az üveg megolvasztásához szükséges energia)
- a fűtés típusa (fosszilis fűtőanyag, villamos pótfűtés)
- fosszilis fűtőanyag (olaj, földgáz)
- oxigénhordozó-gáz (oxigén, levegő, oxigénnel dúsított levegő)
- cseréparány
- keverék-összetétel
- a kemence életkora
- a kemence mérete

A villamos és oxigén tüzelésű kemencéknél az emissziót csak tömegre lehet vonatkoztatni.

A konverziós tényező tájékoztatásul néhány esetben:

• síküveg	$2,5 \times 10^{-3}$
• öblösüveg	$1,5 \times 10^{-3}$
• háztartási üveg	$2,5 \times 10^{-3}$
• ásványgyapot	$2,0 \times 10^{-3}$
• ásványgyapot (kúpoló kemence)	$2,5 \times 10^{-3}$
• boroszilikát-üveg	$4,0 \times 10^{-3}$
• vitrokerámia	$6,5 \times 10^{-3}$
• vízüveg	$1,5 \times 10^{-3}$
• világítástechnikai üveg	$2,5 \times 10^{-3}$

4.1 Öblösüveggyártás

Az öblösüveg-gyártásnál, a **por** leválasztására, az EP és a zsákos porszűrő, vagy ezeknek a száraz ill. félszáraz gázsemlegesítéssel való kombinációja tekinthető BAT-nak. A BAT emisszió értékei: 5-30 mg/Nm³, ami általában 0,1 kg/tonna üvegnek felel meg.

Öblösüveg-gyártásra igen változatos méretű és konstrukciójú kemencét használnak; az **NO_x csökkentésére** számos elsődleges és másodlagos technikát alkalmaznak. A BAT-nak tekinthető technikák:

- elsődleges módszerek (korszerű tüzelési rendszerek)
- 3R / utóégetés (regeneratív kemencéknél)
- oxigén-tüzelés
- SNCR vagy SCR

Az NO₂-ben kifejezett emisszió 500-700 mg/Nm³ (0,5-1,1 kg/tonna üveg). A kisebb értékek az oxigén-tüzelésre, valamint a másodlagos módszerekre vonatkoznak. Az elsődleges módszerekkel (pl. a kemence átépítésekor bevezethető oxigén-tüzelésig, vagy méret változtatásig) 600 –850 mg/Nm³ (0,9-1,3 kg/tonna üveg) emisszió-érték érhető el. Ha a keverékben sok nitrát van (pl. kozmetikai üvegek esetében), a nagy NO_x emisszió csak másodlagos technikák alkalmazásával csökkenthető. Nagyon fontos, hogy a keverékben a lehető legkevesebb nitrát legyen.

Az SO₂-ben kifejezett, BAT-nak megfelelő **SO_x emisszió**:

- földgáztüzelésnél: 200-500 mg/Nm³ (0,3-0,75 kg/tonna üveg)
- olajtüzelésnél: 500-1200 mg/Nm³ (0,75-1,5 kg/tonna üveg)

Ezek az értékek porleválasztással, és száraz vagy félszáraz gázsemlegesítéssel érhetőek el. Ha azonban a leválasztott összes por nem adagolható vissza a kemencébe, az integrált környezetvédelmi megfontolások alapján, a következő értékek is megfelelnek a BAT módszereknek:

- - földgáztüzelésnél: 800 mg/Nm³ (1,2 kg/tonna üveg)
- - olajtüzelésnél: 1500 mg/Nm³ (2,25 kg/tonna üveg)

Az **egyéb károsanyag-kibocsátás** szempontjából BAT-nak tekintendő a minimális emissziót biztosító keverék-összetétel kidolgozása, amely szükség esetén gáz-semlegesítéssel kombinálható. A gáz-semlegesítés szintén BAT-nak tekintendő, ha az alábbi emisszió elsődleges módszerekkel nem biztosítható:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) < 30 mg/Nm³
- fluoridok (HF-ben kifejezve) < 5 mg/Nm³
- fémek (1+2 csoport) < 5 mg/Nm³
- fémek (1 csoport) < 1 mg/Nm³

Az olvasztás utáni műveletek közül a meleg-oldali felületkezelés jelenti a potenciális környezetszennyezést. BAT-nak tekinthetők azok a technikák, amelyekkel az alábbi emisszió szintek biztosíthatók:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) < 30 mg/Nm³
- por < 20 mg/Nm³
- ón < 5 mg/Nm³
- szerves vegyületek < 1 mg/Nm³

A meleg-oldali felületkezeléstől elszívott gáz a kemence füstgázába keverhető, és azzal együtt semlegesíthető ill. tisztítható.

4.2 Síküveg-gyártás

A síküveg-gyártásnál, a **por leválasztására** alkalmazott EP és a zsákos porszűrő tekinthető BAT-nak. Ezeket – amennyiben szükséges – száraz, vagy félszáraz gáz-semlegesítéssel lehet kombinálni. A BAT emissziós szint 5-30 mg/Nm³, ami általában kevesebb, mint 1 kg/tonna üvegnek felel meg. Ha a fém-emisszióra vonatkozó előírások szigorúak, a porkibocsátás a megadott értéknél kisebb is lehet.

A BAT emissziós szint NO₂-ben kifejezve 500-700 mg/Nm³, ami 1,25-1,75 kg/tonna üvegnek felel meg. Ez a szint általában elsődleges módszerekkel, vagy azokat 3R/utóégetéssel kombinálva biztosítható. BAT-nak tekinthetők továbbá a másodlagos módszerek is (SCR és SNCR), amelyekkel kisebb kibocsátási szintek is elérhetők.

Az **NO_x emisszió** csökkentésére szolgáló egyes eljárások (pl. az oxigén-tüzelés vagy a kemence-konstrukció megváltoztatása) csak a kemence átépítésekor vezethetők be, a fosszilis fűtőanyag / levegő tüzelés optimalizálásával azonban, az átépítésig 850 mg/Nm³ (2,2 kg/tonna üveg) értékű emisszió biztosítható. A 3R módszer szintén bevezethető működő kemencén is.

Fontos a nitrát-tartalmú nyersanyagok minimálisra történő csökkentése. Ha az ilyen nyersanyagokat csak időszakonként, átmenetileg alkalmazzák – és emiatt az emisszió csak átmenetileg nő meg – a költséges másodlagos módszerek alkalmazása nem indokolt.

A BAT emisszió SO₂-ben kifejezve:

- földgáztüzelésnél: 200-500 mg/Nm³ (0,5-1,25 kg/tonna üveg)
- olajtüzelésnél: 500-1200 mg/Nm³ (1,25-3 kg/tonna üveg)

Ezek az értékek másodlagos porleválasztási módszerek alkalmazását jelentik, amennyiben szükséges, száraz, vagy félszáraz gáz-semlegesítéssel kombinálva. Ha a leválasztott összes por nem adagolható vissza a kemencébe, az integrált környezetvédelem szempontjai szerint a következő BAT- emisszió engedhető meg:

- földgáztüzelésnél: 800 mg/Nm³ (2 kg/tonna üveg)
- olajtüzelésnél: 1500 mg/Nm³ (3,75 kg/tonna üveg)

Egyéb káros anyagok kibocsátásánál, BAT-nak tekinthető a minimális emissziót biztosító nyersanyagok kiválasztása, porleválasztással és a savas gázok semlegesítésével kombinálva:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) < 30 mg/Nm³
- fluoridok (HF-ben kifejezve) < 5 mg/Nm³
- fémek (1+2 csoport) < 5 mg/Nm³
- fémek (1 csoport) < 1 mg/Nm³

4.3 Háztartási üvegek gyártása

Az ólomkristály, az opálüveg és a kristályüveg gyártásánál elsősorban a villamos olvasztás jelenti a BAT-ot. Egyes esetekben (ha a kristályüveget kevésbé illékony komponensekből olvasztják) más módszerek is BAT-nak tekinthetők.

Por-kibocsátás szempontjából BAT-nak tekinthető az EP és a zsákos porszűrő, amelyeket szükség esetén száraz, vagy félszáraz gáz-semlegesítéssel lehet kombinálni. A BAT emisszió szint a következő: 5-30 mg/Nm³ (0,1 kg/tonna üveg). A fém-kibocsátásra vonatkozó BAT előírások betartása a megadott por-emissziónál kisebb értéket is eredményezhet.

A háztartási üvegek gyártásánál az **NO_x emisszióra** viszonylag kevés adat áll rendelkezésre, ezért nehéz a BAT technikákat kijelölni. Fosszilis fűtőanyag / levegő tüzelésnél az NO_x emisszió általában 1500-2000 mg/Nm³ (3,75-5 kg/tonna üveg).

Az üvegiparnak ezen a területén – az öblösüveggyártáshoz viszonyítva – kisebb kemencéket üzemeltetnek, kisebb a kemencék terhelése, szigorúbb a minőségi követelmény, kizárólag saját cserepet adagolnak a keverékbe, több oxidáló anyagot használnak, nagyobb az olvasztási hőmérséklet, és az üveg (50 %-al) hosszabb ideig tartózkodik a kemencében. Ezek a körülmények nagyobb fajlagosenergia-felhasználást, következésképpen több NO_x képződést jelentenek.

A tüzelés korszerűsítésére elvégzett jelentős fejlesztő munka ellenére sem sikerült az NO_x kibocsátást jelentősen csökkenteni, és további lehetőségek nem állnak rendelkezésre. Az elért csökkenés mértéke 20-40 %, ami 1000-1500 mg/Nm³ emisszió értéket jelent (2,5-3,75 kg/tonna üveg).

A villamos olvasztásnak gazdasági korlátai vannak, de ahol alkalmazható, BAT-nak tekintendő. Ez esetben NO_x csak a nitrát-tartalmú nyersanyagok bomlása révén keletkezik, és az emisszió értéke mindössze 0,2-1,0 kg/tonna üveg. Adott esetben BAT-nak tekintendő a kevés illó komponenst tartalmazó kristályüveg-összetétel is.

Háztartási üveg gyártásánál nem ismert egyetlen SCR, SNCR vagy 3R/utóégetés alkalmazása sem. Oxigén-tüzelésre van példa, de alkalmazása nem jellemző az ebben a szektorban elterjedt, általában 50-160 tonna/nap olvasztási teljesítményű kemencéken. A nehézségek leküzdése, illetve a megfelelő tapasztalatok megszerzése után, az oxigén-tüzelés terjedni fog az üvegiparnak ezen a területén is.

Az előbbieken ismertetett okok miatt a háztartási üveg gyártásánál minden olyan megoldás BAT-nak tekinthető, amelynek az alkalmazásával biztosítani lehet az 500-700 mg/Nm³ (0,5-1,75 kg/tonna) mértékű (NO₂-ben kifejezett) NO_x emissziót. BAT-nak tekinthetők mindenek előtt az elsődleges módszerek (tüzelés optimalizálás), a 3R/utóégetés (regeneratív kemencéknél), oxigén-tüzelés, az SNCR és SCR módszerek. BAT-nak számít az igen

korszerű Flex-Melter típusú kemence. A 3R/utóégetés alkalmazásánál számolni kell a tűzállóanyag fokozott korróziójával.

Ha a keverékben sok a nitrát-tartalmú anyag, az NO_x olyan mértéket érhet el, hogy másodlagos módszerek válnak szükségessé. Ha az NO_x emisszió csak időnként nő meg, és a nagyon költséges másodlagos módszerek nem gazdaságosak, kivételes esetben BAT-ként megengedett az 1500 mg/Nm^3 (3 kg/tonna üveg) mértékű emisszió is.

A alább megadott BAT emisszió szintek csak másodlagos **porleválasztással**, vagy annak száraz ill. félszáraz gáz-semlegesítéssel történő kombinációjával biztosíthatók:

- földgáztüzelésnél: $200\text{-}500 \text{ mg/Nm}^3$ ($0,5\text{-}1,25 \text{ kg/tonna üveg}$); minimális szulfát-felhasználás mellett pedig kevesebb, mint 200 mg/Nm^3 .
- olajtüzelésnél: $500\text{-}1300 \text{ mg/Nm}^3$ ($1,25\text{-}3,25 \text{ kg/tonna üveg}$)

A megadott értékek közül a nagyobb a leválasztott por újra felhasználására vonatkozik. Ha a leválasztott port nem adagolják vissza, a kisebb értékek az irányadóak. A porleválasztásra a másodlagos módszerek alkalmazhatók, szükség szerint száraz, vagy félszáraz gáz-semlegesítéssel.

Az olvasztásból származó **egyéb káros anyag** kibocsátása szempontjából BAT-nak tekintendő az optimális nyersanyag-kiválasztás, ami a savas gáz semlegesítésével kombinálható. A BAT-nak megfelelő emisszió szintek a következők:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) $< 30 \text{ mg/Nm}^3$
- fluoridok (HF-ben kifejezve) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$
- fémek (1+2 csoport) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$
- fémek (1 csoport) $< 1 \text{ mg/Nm}^3$

Kristály- és ólomkristály-üvegeknél a fémekre vonatkozó értékek csak zsákos porszűrővel, illetve nagyon hatékony EP-vel biztosíthatók.

Az olvasztás utáni műveletek során elsősorban por és savas gáz keletkezik (kristály és ólomkristály termékek vágása, csiszolása, polírozása). BAT-nak tekintendő a nedves vágás, csiszolás és polírozás; ha ezeket a műveleteket szárazon végzik, a zsákos porszűrő használata. Amennyiben savas gázok keletkeznek (savpolírozás, maratás), BAT-nak tekintendő a nedves gázmosás. A BAT emissziós szintek a következők:

- fluoridok (HF-ben kifejezve) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$
- por $< 10 \text{ mg/Nm}^3$
- fémek (1+2 csoport) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$

A háztartási üveg az üvegiparnak az a területe, ahol jelentős a vízszennyezés.

4.4 Különleges üvegek gyártása

Különleges üvegek gyártásánál a **konverziós tényező** $1,5 \times 10^{-3}$ értéktől (vízüveg), $6,5 \times 10^{-3}$ értékig terjed.

Porkibocsátás szempontjából BAT-nak tekintendő az EP és a zsákos porszűrő alkalmazása, amit száraz és félszáraz gáz-semlegesítéssel lehet kombinálni. A BAT emisszió szint: $5\text{-}30 \text{ mg/Nm}^3$.

Az üvegipar ezen területén, (NO₂-ben kifejezve) az **NO_x emisszióra** vonatkozó BAT érték: 500-700 mg/Nm³. Ez a kibocsátási szint oxigén-tüzeléssel, SNCR vagy SCR módszerekkel biztosítható.

A különleges üvegeket különböző méretű és típusú kemencékben olvasztják, és különbözik a felhasznált nitrát-tartalmú nyersanyagok mennyisége is. Fontos ezen nyersanyagok minimális értékre való csökkentése, továbbá az elsődleges és másodlagos módszerek kombinálása. Ha az NO_x emissziót oxigén-tüzeléssel, vagy a kemence konstrukciójának megváltoztatásával kívánják csökkenteni, (amely változtatások csak a kemence átépítésekor valósíthatók meg) a kemence átépítéséig megengedhető a 600-850 mg/Nm³ érték is.

Az **SO_x** (SO₂-ben kifejezett) BAT emissziós értékei a következők:

- földgáztüzelésnél: 200-500 mg/Nm³
- kevés szulfát-felhasználás esetén ennél kevesebb
- olajtüzelésnél: 500-1200 mg/Nm³

A fenti értékek feltételezik a másodlagos porleválasztást (szükség szerint száraz, vagy félszáraz gáz-semlegesítéssel kombinálva), és a leválasztott por újra felhasználását (nagyobb értékek).

Az olvasztásból származó, **egyéb káros anyagok** emissziójára vonatkozó BAT értékek:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) < 30 mg/Nm³
- fluoridok (HF-ben kifejezve) < 5 mg/Nm³
- fémek (1+2 csoport) < 5 mg/Nm³
- fémek (1 csoport) < 1 mg/Nm³

Az olvasztás utáni műveletnél BAT-nak tekintendő a nedves vágás, csiszolás, polírozás; ha ezeket a műveleteket szárazon végzik, akkor a porszívás és zsákos porszűrő használata. Amennyiben savas gázok keletkeznek, a nedves gázmosás képezi a BAT-ot. A BAT emissziós szintjei:

- fluoridok (HF-ben kifejezve) < 5 mg/Nm³
- por <5 mg/Nm³
- fémek (1+2 csoport) < 5 mg/Nm³
- fémek (1 csoport) <1 mg/Nm³

A különleges üvegek gyártása egyes esetekben szintén jelentős vízszennyezéssel jár.

4.5 Üveggyapot- és ásványgyapot-gyártás

A **porkibocsátás** csökkentésére szolgáló BAT eljárás az EP és a zsákos porszűrő használata. Üveggyapot gyártására általában gáztüzelésű, vagy villamos fűtésű üvegolvasztó kemencéket használnak, ezért a száraz vagy félszáraz gáz-semlegesítés nem szükséges. A por-emisszióra vonatkozó BAT érték 5-30 mg/Nm³ (0,1 kg/tonna üveg). Az ásványgyapot gyártására alkalmazott kúpoló kemencéket a robbanásveszély miatt zsákos porszűrővel szerelik fel. Ha a meglévő – nem optimálisan beépített porleválasztó – csak kb. 50 mg/Nm³ értékű emissziót képes biztosítani, de a berendezés módosítása (a következő kemence-átépítésig) nem gazdaságos, a nagyobb érték (az átépítésig) megengedhető.

Az **üveggyapot** gyártásánál az **NO_x** emisszióra vonatkozó BAT érték (NO₂-ben kifejezve) 500-700 mg/Nm³ (0,5-1,4 kg/tonna üveg). Oxigén-tüzeléssel és villamos fűtéssel ennél kedvezőbb emisszió is elérhető. A hagyományos, levegővel eltüzelt fűtőanyaggal is biztosítható a megadott emisszió, a már ismertetett elsődleges és másodlagos módszerek alkalmazásával. Ezek a megoldások is BAT-nak tekintendők.

Ha a keverék sok nitrátot (szerves anyagokkal szennyezett újra hasznosított anyagok) tartalmaz, csak oxigén-tüzeléssel, villamos olvasztással, illetve másodlagos módszerekkel biztosítható a 700 mg/Nm³ –nél kisebb emisszió.

Ásványgyapot gyártásánál a kúpoló kemence **NO_x** emissziója általában kevesebb, mint 0,5 kg/tonna olvadék. Ha az ásványgyapot gyártására kádkemencét alkalmaznak, a BAT emisszió azonos az üveggyaptra előírt értékkel.

Üveggyapot gyártásánál – a gáztüzelésnek ill. villamos olvasztásnak köszönhetően – kevés **SO_x** keletkezik. Kedvező, hogy a keverék nagyon kevés szulfátot tartalmaz. Az **SO_x**-re vonatkozó (SO₂-ben kifejezve) BAT emisszió szint 50 mg/Nm³ (0,1 kg/tonna üveg), amit minden külön leválasztás nélkül biztosítani lehet. Olajtüzelésnél a keletkező savas gázt semlegesíteni kell (elsősorban a porleválasztó védelme érdekében); ez esetben a BAT emisszió értéke 300-1000 mg/Nm³ (0,6-2,0 kg/tonna üveg).

Ásványgyapot gyártásánál a BAT emisszió értéke **SO_x**-re (SO₂-ben kifejezve) 600 mg/Nm³ (1,5 kg/tonna olvadék). Ez az érték arra az esetre vonatkozik, amikor a leválasztás célja az összegyűjtött anyag újra hasznosítása úgy, hogy a leválasztott port ne kelljen hulladékként tárolni. Amennyiben az újra hasznosítás nem lehetséges, BAT-nak tekintendő a savas gáz-semlegesítés (elsősorban a száraz semlegesítés). Az így leválasztott por általában nem használható fel újra, és az elhelyezését biztosítani kell. Ez esetben a BAT emisszió szint 200 mg/Nm³ (0,5 kg/tonna olvadék).

Ha az ásványgyapot gyártásánál cementkötésű brikettet is használnak, a kötőanyag kén-tartalma miatt több **SO_x** keletkezik az olvasztás során. 45 % brikett használatánál a BAT emisszió szint max. 1100 mg/Nm³ (2,7 kg/tonna olvadék). A BAT-nak tekintendő gáz-semlegesítés esetén az **SO_x** kibocsátás szintje max. 350 mg/Nm³ (0,8 kg/tonna olvadék). 45 %-nál több brikettet ritkán használnak, de abban az esetben, ha erre mégis sor kerül, meg kell határozni a kén-egyensúlyt, hogy a megfelelő BAT emissziót biztosítani lehessen.

Ha a brikett porleválasztóból származó port is tartalmaz (a por kén-tartalma 0,05-0,28 %), a BAT emisszió szint a következő:

- ha a keletkező hulladék mennyiségének csökkentése a cél: 1400 mg/Nm³ (3,4 kg/tonna olvadék),
- ha az **SO₂** emisszió csökkentése a cél: 400 mg/Nm³ (1 kg/tonna olvadék).

A BAT nem foglalkozik a kohósalak használatával, de ha erre mégis sor kerül, a keletkező gáz száraz semlegesítése képezi a BAT-ot.

Az olvasztásból származó **egyéb szennyező anyagokra** vonatkozó BAT emissziós szintek a következők:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) < 30 mg/Nm³
- fluoridok (HF-ben kifejezve) < 5 mg/Nm³
- kén-hidrogén (H₂S) < 5 mg/Nm³
- fémek (1+2 csoport) < 5 mg/Nm³

- fémek (1 csoport) < 1 mg/Nm³

Ezek az értékek a nyersanyagok helyes kiválasztásával biztosíthatók. A kúpoló kemencéből távozó kén-hidrogén és szén-monoxid a BAT-nak tekintendő utóégetéssel (termikus oxidációval) csökkenthető a kívánt szintre.

Az olvasztás utáni műveletek (szájképzés, kötés ragasztó anyaggal) során keletkező káros anyagokra vonatkozó BAT emissziós szintek:

- aeroszol 20-50 mg/Nm³
- fenol 5-15 mg/Nm³
- formaldehid 5-10 mg/Nm³
- ammónia 30-65 mg/Nm³
- aminok < 5 mg/Nm³
- szerves illó anyagok 10-50 mg/Nm³

BAT-nak tekinthető emissziót csökkentő berendezések: nedves EP, töltet-ágyas gázmosó, ásványgyapot-szűrő (ez csak ásványgyapot gyártásánál alkalmazható). Az ásványgyapot-szűrő hatékonyan választja le az aeroszolókat és a port, a töltet-ágyas gázmosó pedig a gázokat köti meg hatékonyan.

Az üveggyapot hőkezelésénél a BAT emissziós szint megegyezik a fent megadott értékekkel, de a fenol emisszió tartománya 5-10 mg/Nm³.

Az ásványgyapot gyártásánál BAT-nak tekintendő az utóégetés, ami után a megengedett emisszió-értékek a következők:

- összes aeroszol 5-30 mg/Nm³
- fenol < 5 mg/Nm³
- formaldehid < 5 mg/Nm³
- ammónia 20-65 mg/Nm³
vagy: < 0,4 kg/tonna késztermék
max. 100 mg/Nm³
- aminok < 5 mg/Nm³
- szerves illó anyagok < 10 mg/Nm³

A több kötőanyagot igénylő tömörebb, szilárdabb termékeknél még a BAT-nak minősülő módszerek használata mellett is nagyobb lehet a károsanyag-kibocsátás. Amennyiben az ilyen termékek képezik a gyártás túlnyomó többségét, más emisszió-csökkentő eljárás ill. berendezés alkalmazására is szükség lehet.

Az üveg- és ásványgyapot hűtésénél keletkező gázok a szájképzésnél ill. a hőkezelésnél keletkező gázzal együtt, vagy attól elkülönítve tisztíthatók. Ez utóbbi esetben a BAT emissziós hatások azonosak a szájképzésnél előírtakkal.

A késztermék vágásánál és csomagolásánál BAT-nak tekinthető a porelszívás és a zsákos porszűrő használata. Az aeroszolra (porra) vonatkozó emissziós szint 5 mg/Nm³.

4.6 Kerámiaszál gyártása

A kerámiaszál gyártásánál kizárólag villamos olvasztást alkalmaznak, és a kemencét zsákos porszűrőkkel szerelik fel. A BAT emissziós szintek a következők:

- por $< 10 \text{ mg/Nm}^3$
- NO_x (NO_2 -ben kifejezve) $< 0,1-0,5 \text{ kg/tonna olvadék}$
- SO_x (SO_2 -ben kifejezve) $< 0,1-0,5 \text{ kg/tonna olvadék}$
- kloridok (HCl-ben kifejezve) $< 10 \text{ mg/Nm}^3$
- fluoridok (HF-ben kifejezve) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$
- fémek (1+2 csoport) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$
- fémek (1 csoport) $< 1 \text{ mg/Nm}^3$

Az olvasztást követő műveletek során por keletkezik, annak elszívása és zsákos porszűrőben történő leválasztása képezi a BAT-ot. A BAT emissziós szintek a következők:

- por 5 mg/Nm^3
- kerámiaszál¹ 1 mg/Nm^3
- szerves illó komponensek $10-20 \text{ mg/Nm}^3$

4.7 Üvegfritt gyártása

Az üveggyártásnak ezen a területén a **porkibocsátást** csökkentő BAT eljárás az EP és a zsákos porszűrő használata, amelyeket száraz, vagy félszáraz gáz-semlegesítéssel lehet kombinálni. A por-emisszióra vonatkozó BAT szint $5-30 \text{ mg/Nm}^3$ (kb. $0,1 \text{ kg/tonna üveg}$).

Ismeretes, hogy a jelenleg alkalmazott kemencék többségénél ennek az emissziós szintnek a biztosítása jelentős fejlesztést igényel. A 30 mg/Nm^3 emisszió elérése technikailag megoldható, és belátható időn belül biztosítható.

Az NO_2 -ben kifejezett **NO_x emisszió** BAT szintje $0,5-1,5 \text{ kg/tonna üveg}$ ($500-700 \text{ mg/Nm}^3$), ami oxigén-tüzelést feltételez. A hagyományos levegő / gáztüzelésnél ez az emissziós szint csak másodlagos módszerek alkalmazásával biztosítható. A megadott emissziós szint biztosítása technikailag megoldható.

A fritt-gyártásnál az SO_2 -ben kifejezett **SO_x emisszióra** vonatkozó BAT a fűtőanyag helyes megválasztását, továbbá az optimális keverék-összetétel kidolgozását jelenti. A BAT emissziós szint $0,1-0,5 \text{ kg/tonna üveg}$ (kevesebb, mint 200 mg/Nm^3). Olajtüzelés esetén a BAT nagyobb, $500-1000 \text{ mg/Nm}^3$ értékű emissziót is megenged.

Az olvasztásból származó **egyéb károsanyag-kibocsátás** BAT szintjei:

- kloridok (HCl-ben kifejezve) $< 10 \text{ mg/Nm}^3$
- fluoridok (HF-ben kifejezve)². 2. Megjegyzés) $< 5 \text{ mg/Nm}^3$

¹ **1. Megjegyzés:** a kerámiaszál-szennyezés itt az $5 \mu\text{m}$ -nál hosszabb, $3 \mu\text{m}$ -nál vékonyabb szálatokat jelenti, amelyeknek a hossz / átmérő aránya 3:1 –nél nagyobb.

² **2. Megjegyzés:** amennyiben a keverék jelentős mennyiségű fluoridot tartalmaz, ez az érték csak gáz-semlegesítéssel biztosítható.

- fémek (1+2 csoport) < 5 mg/Nm³
- fémek (1 csoport) < 1 mg/Nm³

Az olvasztás utáni műveletek során elsősorban por keletkezik; BAT-nak a zsákos porszűrő alkalmazása tekinthető. A BAT emissziós szint 5-10 mg/Nm³ értéke a porra, a < 5 mg/Nm³ érték pedig az 1+2 csoportba tartozó fémekre vonatkozik.

4.8 **Vízszennyezés a gyártások során**

Az üvegipar nem jelentős vízszennyező. Az alábbiakban megadott vízszennyezés-értékek betartását biztosító eljárások BAT-nak tekintendők:

- lebegő szilárd anyag < 30 mg/l
- kémiai oxigén-igény³ (3. Megjegyzés)..... 100-130 mg/l
- ammónia (Kjeldahl)..... < 10 mg/l
- szulfát..... < 1000 mg/l
- fluorid..... 15-25 mg/l
- arzén < 0,3 mg/l
- antimon..... < 0,3 mg/l
- bárium..... < 0,3 mg/l
- kadmium..... < 0,05 mg/l
- króm (összesen)..... < 0,5 mg/l
- réz..... < 0,5 mg/l
- ólom⁴ (4.Megjegyzés) < 0,5 mg/l
- nikkel < 0,5 mg/l
- ón⁵ (5. Megjegyzés)..... < 0,5 mg/l
- cink < 0,5 mg/l
- fenol..... < 1,0 mg/l
- bór-sav 2-4 mg/l
- pH..... 6,5-9
- ásványolaj..... < 20 mg/l

4.9 **Egyéb hulladékok a gyártások során**

BAT-nak tekinthető minden olyan elsődleges módszer, amelynek alkalmazásával megszüntethető, vagy legalább minimálisra csökkenthető az egyéb hulladék mennyisége.

³ **3. Megjegyzés:** a kémiai oxigén-igény nagyon kicsi; a BAT emissziós szint függ a befogadó víztől. Ha a befogadó víz nagyon érzékeny, a megadottnál kisebb szint is előírható.

⁴ **4. Megjegyzés:** ólomüvegnél az 1,0 mg/l érték jelenleg még elfogadható. A 0,5 mg/l érték műszakilag megvalósítható, de jelentős fejlesztést igényel a megvalósítása.

⁵ **5. Megjegyzés:** az öblösüveggyártásnál alkalmazott gázmosó esetén a < 3 mg/l érték megengedett.

Ilyen módszer az üvegcserép, vagy a brikettált ásványgyapot újra felhasználása, továbbá a füstgázból leválasztott por beadagolása az üvegolvasztó kemencébe. A száraz porleválasztással összegyűjtött por kémiai összetételének megfelelően, meg kell változtatni a keverék összetételét ahhoz, hogy megfelelő minőségű üveget lehessen gyártani. Ha a füstgáz semlegesítése során keletkező, és összegyűjtött pornak csak egy része adagolható vissza a kemencébe, az anyagmérleg gondos tanulmányozásával kell kompromisszumos megoldást keresni a levegőbe jutó és a tárolandó anyagok között. Ilyen esetben a környezetszennyezést összességében kell mérlegelni ill. megítélni.

Ha a körülmények megengedik, az üvegcserép és az egyéb hulladékok maximális újra hasznosítása kiegészíti a BAT-ot a következő alapokon:

- a hulladék mennyisége csökken
- hatékonyabb energia-felhasználás
- hozzájárulás bizonyos más emissziók csökkentéséhez
- a természetes források kímélése.

5 Kifejlesztés alatt álló, környezetkímélő üvegyipari eljárások

Az üvegyipar által okozott környezetszennyezést egyrészt a már bevált, alkalmazott eljárások továbbfejlesztésével, másrészt teljesen új technikák alkalmazásával kívánják csökkenteni. Az első megoldást folyamatosan alkalmazzák, általában a kemencék átépítése során, az utóbbi megoldások, azaz a teljesen új technikák bevezetése azonban a közeljövőben nem várható. Az üvegolvasztó kemencék nagy értéke, valamint a termelés megzavarása miatt, a kemencék üzem közbeni időleges leállítását és átalakítását (amelyek egyébként nagy kockázattal és veszteséggel járnak) általában nem vállalják. A teljesen új kísérleti stádiumban lévő technikák bevezetése csak kipróbálásuk után várható.

5.1 Alacsony NO_x kibocsátású égők

Az NO_x képződés csökkentésére új égőtípusokat fejlesztettek ki, amelyek a korszerű, füstgázelemzésen alapuló tüzelésszabályozással együtt jó lehetőséget kínálnak. Az új égőtípusok gyakran a kemencekonstrukció megváltoztatását igénylik. A fejlesztés során a következő technológiai problémákra kell figyelemmel lenni:

- a láng redukáló hatású része az érintkezés felületén károsíthatja a kemence tűzálló anyagát,
- az üvegolvadék ill. a keverékréteg felett kialakuló redukáló hatás rontja az üveg minőségét, korai szulfátbomlást eredményezhet, ami miatt növelni kell a keverék szulfáttartalmát, ami viszont növeli az SO_x emissziót.

5.2 Az oxigéntüzelés továbbfejlesztése

Az oxigéntüzelést az üvegyiparban mindössze 10 éve alkalmazzák. Az üvegolvasztó kemencék élettartamát figyelembe véve ez azt jelenti, hogy az oxigéntüzelésű kemencék többségét most építik át. A megszerzett tapasztalatok alapján mind az égőket, mind a kemencék konstrukcióját fejlesztik, azzal a céllal, hogy az oxigéntüzelés előnyeit jobban ki lehessen használni. Megoldást keresnek az oxigén-tüzelésnél alkalmazható hő-visszanyerésre is.

5.3 A keverék és cserép előmelegítése

Ez ismert és alkalmazott eljárás, de szintén intenzív fejlesztés alatt áll, az időközben szerzett tapasztalatok alapján. A meglévő, ismert problémák megoldásával ennek az eljárásnak a gyors elterjedése várható.

5.4 A keverék-összetétel megváltoztatása

Mészalkáli üveg keverék-összetételének a megváltoztatásával – különösen egyéb technikákkal kombinálva – jelentősen csökkenthető a kemence por-emissziója. Egyes esetekben az emisszió ezzel a módszerrel $70-100 \text{ mg/m}^3$ értékre csökkenthető.

Új, kevésbé illékony szelén vegyületek szintelenítőként történő alkalmazásával a szelén-emisszió csökkenthető, elsősorban üvegedények és flintüveg gyártásánál.

Az E-üvegnél (üvegszál- és üvegyapotgyártás) a por-emissziót és a fluoridok kibocsátását sikerült 50 mg/m^3 alá csökkenteni a keverék-összetétel megváltoztatásával. Az új keverékben

már nincsen bór és fluor tartalmú adalék, emiatt azonban magasabb hőmérsékletet igényel a keverék megolvasztása és a szálképzés is nehezebbé válik. Csak a gyakorlat fogja megmutatni, hogy az új keverék-összetétel hogyan befolyásolja a tűzállóanyagok élettartamát. További fejlesztéssel, kutatással lehet majd elérni – a kétségtelenül előnyösen megváltozott emisszió mellett – a hátrányok (így a többletenergia –felhasználás) kiküszöbölését ill. csökkentését az olvasztásnál.

5.5 Integrált fritt-olvasztás

A fritt olvasztást szabadalmaztatott modulrendszerű kemencékben végzik oly módon, hogy a hasonló műveleteket csoportosítják. Így lehetővé válik az égéslevegőnek rekuperátorban történő előmelegítése, csökkenthető a por-emisszió, és gazdaságosabbá tehető a hulladék újrahasznosítása.

5.6 A füstgáz visszavezetése a lángba

Ezt az eljárást az üvegipari kemencéknél még nem sikerült nehézségek nélkül alkalmazni. A felmerült problémák a következők: romlik a láng stabilitása és az égés hatásfoka, nő a por-emisszió továbbá nő a füstgáz CO, valamint elégtelen szénhidrogén-tartalma. A regenerátorkamrák tűzálló anyagainak élettartama csökken. A legújabb kutatások szerint „szintetikus levegő”-t állítanak elő, ami oxigéntüzelésnél oxigén és füstgáz keverékét jelenti. Ennek az eljárásnak az üvegipari alkalmazása még nem ismert.

5.7 Redox-szabályozás az olvasztásnál

Kén-érzékelők alkalmazásával, a redox-állapot folyamatos ellenőrzésével tökéletesíthető a szulfát-tisztulási folyamat, ennek eredményeképpen a hatékony üvegtisztulás kevesebb szulfáttal is biztosítható. Ezzel a módszerrel az SO₂ emisszió 30 – 40 %-al csökkenthető. A csökkenés mértéke függ az üvegcserep minőségétől, a cseréparánytól, az alkalmazott fűtőanyagtól és a kívánt üvegminőségétől.

Antimon-oxid és arzén-oxid tisztulást elősegítő anyagokkal együtt gyakran adagolnak oxidálószerként nitrátokat, különösen azokban az esetekben, amikor a cserép (vagy üvegszál ill. üveggyapot) sok szerves anyagot tartalmaz. A nitrátok a szerves anyagokat 500 – 900 °C közötti hőmérsékleten oxidálják. A redox-állapot ellenőrzésével elkerülhető a túlzott oxidálószer-beadagolás. További nitrát-csökkenés érhető el a szerves anyagoknak előzetes kiégetésével vagy pirolízisével.

5.8 Új kemence-konstrukciók

5.8.1 A „SEG” olvasztás

Ennek az a lényege, hogy az üveg két fő alkotóját, a keveréket és az üvegcserepet külön kemencében olvasztják meg, mivel a két alkotónak eltérőek az olvasztási paraméterei. A keveréket villamos kemencében olvasztják meg: 1400 °C körüli hőmérsékleten; 24 órás tartózkodási idő alatt a keveréknek mintegy 75 %-a olvad meg. Az üvegcserepet 1200 °C-on 1-2 óra alatt olvasztják meg. A cseréparány kb.60%. Az előolvasztott keverék megnövelt méretű adagolóba (doghause) folyik, ahová az üvegcserepet adagolják. Az így előállított üvegolvadék egy másik olvasztókádba folyik át, ahol hagyományos gáz-, olaj- vagy oxigéntüzelést alkalmaznak, és itt az üvegmélység kisebb, mint az előolvasztó kádban. Ennek az eljárásnak az előnyei a következők:

- a villamos előolvasztó kemence emissziója elhanyagolható
- a második olvasztókád fűtőanyag-fogyasztása kedvező, mert az üvegcserép a keveréknél alacsonyabb hőmérsékleten olvad
- oxigéntüzelésnél a második kád NO_x emissziója kicsi
- a második olvasztókád kisméretű az üveg kis tartózkodási idejének következtében.

230 t/24h olvasztási teljesítményű kemencét „SEG” olvasztásra alakítva át, a termikus hatásfok 25 %-al javult. A kemence karbantartása viszont költségesebb, a bonyolultabb konstrukció miatt. 15 éves élettartam mellett a villamos fűtésű előolvasztó részt várhatóan 3 évenként javítani kell. A javítás ideje alatt a lánggal fűtött rész csak csökkentett teljesítménnyel üzemeltethető.

5.8.2 Az „AGM” olvasztás

Az „AGM” eljárásnál a keveréket és az üvegcserepet a földgáz-láng reakció-zónájába fűjják be. A lángban lebegő szemcsék felületén nagyon jó a hőátadás, így a keverék gyorsan megolvad. A megolvadt üveget speciális fűvóka segítségével választják le a lángból, az így összegyűlt üveg folyik a kemence pihentető részébe. A keverékszemcsék a láng nagyhőmérsékletű részét lehűtik, emiatt kicsi az NO_x képződés illetve emisszió.

5.8.3 Üvegolvasztás plazmával

3 db, egymáshoz képest 120 °-ra elhelyezkedő argon-plazmaégő alatt áll az olvadt üveget tartalmazó, villamosan szigetelő tégely. A megolvasztandó keveréket vagy üvegcserepet felülről szórják a lágy plazma-lángon keresztül a tégelybe és az olvadt üveget folyamatosan elvezetik a tégely aljából. A berendezés előolvasztásra és rendes olvasztásra is alkalmas. Az előolvasztásnál a villamosan nem vezető keverék és üvegcserép olvasztásánál az áram a plazmaégők között folyik és konvektív, valamint sugárzásos hőátadás révén olvadnak meg, a szemcséknek a tégelybe hullása közben. Amikor a tégelyben elegendő olvadék gyűlik össze, a plazmaégőket úgy állítják be, hogy az égők közötti áram az olvadt üvegen áramoljon át, kellően fűtve azt. Az eljárás előnyei a következők:

- a keverék és az üvegcserép percek alatt megolvad (részben letisztult üveggé)
- a kemence bármikor leállítható és újra indítható
- az üvegösszetétel és az üvegszín gyorsan változtatható
- az olvasztás környezetkímélő, pormentes, SO_x és NO_x nem keletkezik

Az eljárást - kisméretű berendezésekben – várhatóan éveken belül alkalmazni fogják. A naponta 20 t-nál több üveget olvasztó berendezések alkalmazása belátható időn belül nem várható.