

## **Integrált Szennyezés-megelőzés és Csökkentés (IPPC)**

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

**A vas- és acélgyártás**

---

**TARTALOMJEGYZÉK**

<b>1</b>	<b>ÁLTALÁNOS INFORMÁCIÓ</b>	<b>4</b>
1.1	ÖSSZES ACÉLTERMELÉS EURÓPÁBAN ÉS A VILÁGON	4
1.2	AZ ACÉLTERMELÉS FÖLDRAJZI ELOSZLÁSA AZ EU-BAN	5
1.3	BERUHÁZÁSOK ÉS FOGLALKOZTATOTTSÁG AZ EU VAS-ÉS ACÉLIPARÁBAN	9
1.4	A GAZDASÁGI HELYZET	9
1.5	A VAS-ÉS ACÉLIPAR KÖRNYEZETRELEVANCIÁJA	10
1.5.1	<i>Szilárd hulladékok/maradékok</i>	12
<b>2</b>	<b>NYERSANYAGOK TÁROLÁSA ÉS KEZELÉSE</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>AZ ACÉLGYÁRTÁS ÁTTEKINTÉSE</b>	<b>15</b>
3.1	A KÜLÖNBÖZŐ ACÉLGYÁRTÓ ELJÁRÁSOK	15
3.2	AZ INTEGRÁLT ACÉLMŰVEK	15
3.2.1	<i>A folyamat áttekintése</i>	15
3.2.2	<i>A különböző termelő folyamat/egység egymástól függése az energiára, a melléktermékekre/maradékokra, a levegőre és a vízre tekintettel</i>	16
<b>4</b>	<b>ZSUGORÍTÓMŰVEK</b>	<b>21</b>
4.1	ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK ÉS TECHNOLÓGIÁK	21
4.2	JELENLEGI FELHASZNÁLÁSI ÉS EMISSZIÓS SZINTEK	21
4.3	A BAT MEGHATÁROZÁSÁNÁL FIGYELEMBEVEENDŐ SZEMPONTOK.	25
4.4	KÖVETKEZTETÉSEK	33
4.5	A HAZAI HELYZET	35
4.6	KIALAKULÓ TECHNIKÁK ÉS JÖVŐBENI FEJLESZTÉSEK	36
<b>5</b>	<b>PELLETEZŐ ÜZEMEK</b>	<b>38</b>
<b>6</b>	<b>KOKSZOLÓMŰVEK</b>	<b>40</b>
6.1	ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK ÉS TECHNIKÁK	40
6.2	JELENLEGI FELHASZNÁLÁSI ÉS EMISSZIÓS SZINTEK	44
6.3	A BAT MEGHATÁROZÁSOKOR FIGYELEMBE VEENDŐ TECHNIKÁK	47
6.4	KÖVETKEZTETÉSEK	49
6.5	A HAZAI HELYZET	51
6.6	KIALAKULÓ TECHNIKÁK ÉS JÖVŐBENI FEJLESZTÉSEK	52
<b>7</b>	<b>NAGYOLVASZTÓK</b>	<b>54</b>
7.1	ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK	54
7.1.1	<i>Adagolás</i>	55

---

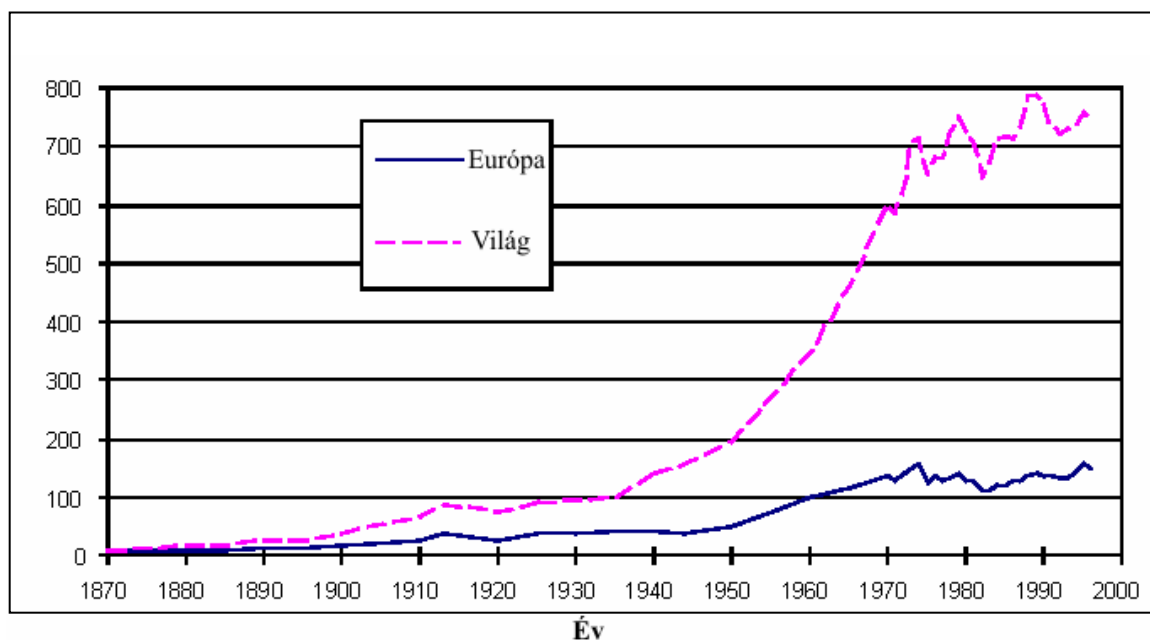
7.1.2	<i>Léghevítők</i>	55
7.1.3	<i>Nagyolvasztó</i>	56
7.2	JELLENLEGI EMISSZIÓS ÉS FELHASZNÁLÁSI SZINTEK	57
7.3	A BAT MEGHATÁROZÁSOKOR FIGYELEMBEVEENDŐ TECHNIKÁK	63
7.4	KÖVETKEZTETÉSEK	66
7.5	A HAZAI HELYZET	68
7.6	KIALAKULÓ TECHNIKÁK ÉS JÖVŐBENI FEJLESZTÉSEK	69
<b>8</b>	<b>BÁZIKUS OXIGÉNES (KONVERTER-) ACÉLGYÁRTÁS ÉS ÖNTÉS</b>	<b>70</b>
8.1	ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK ÉS TECHNIKÁK	70
8.2	JELLENLEGI EMISSZIÓS ÉS FELHASZNÁLÁSI SZINTEK	73
8.3	A BAT MEGHATÁROZÁSÁHOZ FIGYELEMBEVEENDŐ TECHNIKÁK	80
8.4	KÖVETKEZTETÉSEK	82
8.5	A HAZAI HELYZET	83
8.6	KIALAKULÓ TECHNIKÁK ÉS JÖVŐBENI FEJLESZTÉSEK	84
<b>9</b>	<b>ELEKTROACÉLGYÁRTÁS ÉS ÖNTÉS</b>	<b>85</b>
9.1	ALKALMAZOTT ELJÁRÁSOK ÉS TECHNIKÁK	85
9.2	JELLENLEGI FELHASZNÁLÁSI ÉS EMISSZIÓS SZINTEK	86
9.3	A BAT MEGHATÁROZÁSOKOR FIGYELEMBE VEENDŐ TECHNIKÁK	92
9.4	KÖVETKEZTETÉSEK	95
9.5	A HAZAI HELYZET	96
9.6	KIALAKULÓ TECHNIKÁK ÉS JÖVŐBENI FEJLESZTÉSEK	97
<b>10</b>	<b>ÚJ/ALTERNATIV VASGYÁRTÓ TECHNIKÁK</b>	<b>98</b>
10.1	DIREKT REDUKCIÓ	98
10.2	OLVADÉKREDUKCIÓ (SR)	98
10.3	A HAGYOMÁNYOS NAGYOLVASZTÓ-ÚT ÖSSZEHASONLÍTÁSA A DIREKT REDUKCIÓS ÉS AZ OLVADÉKREDUKCIÓS ÚTTAL	99
<b>11</b>	<b>KÖVETKEZTETÉSEK ÉS AJÁNLÁSOK</b>	<b>101</b>
<b>12</b>	<b>GLOSSZÁRIUM</b>	<b>102</b>
12.1	ÁLTALÁNOS RÖVIDÍTÉSEK EGYSÉGEK	102
12.2	EMISSZIÓKRA UTALÓ MÉRŐEGYSÉGEK:	102

# 1 ÁLTALÁNOS INFORMÁCIÓ

## 1.1 Összes acéltermelés Európában és a világon

A vas és acél évezredek óta fontos szerepet játszott az emberi civilizáció fejlődésében és talált felhasználásra a mezőgazdaságban, az építkezésben, az áramfejlesztésben és -elosztásban, a gépgyártásban, a háztartásban és az orvostudományban.

A vas és az acél - a szénrel és a gyapottal együtt - azon fontos anyagok, amelyeken az ipari forradalom alapult. A tizennyolcadik század elejétől kezdve drámai termelésnövelést tettek lehetővé a műszaki fejlesztések, például a viszonylag szűkösen rendelkezésre álló faszén helyettesítése koksszal stb. A huszadik század második felében exponenciálisan nőtt a világ acéltermelése és az 1995 esztendőben elérte a 757 millió tonnát, ahogyan azt az 1.1.ábra is mutatja.



ábra: Nyersacéltermelés Európában és a világon 1870 óta - [Stat.Stahl, 1997]

Az ábra azt is érzékelteti, hogy az európai részarány a világ összes acéltermelésében folyamatosan csökkent és a periódus végére 21 %-ra esett le. Az 1974-75 évi olajválság óta világszerte stagnál a termelés. Európa ebben különösen érintett volt.

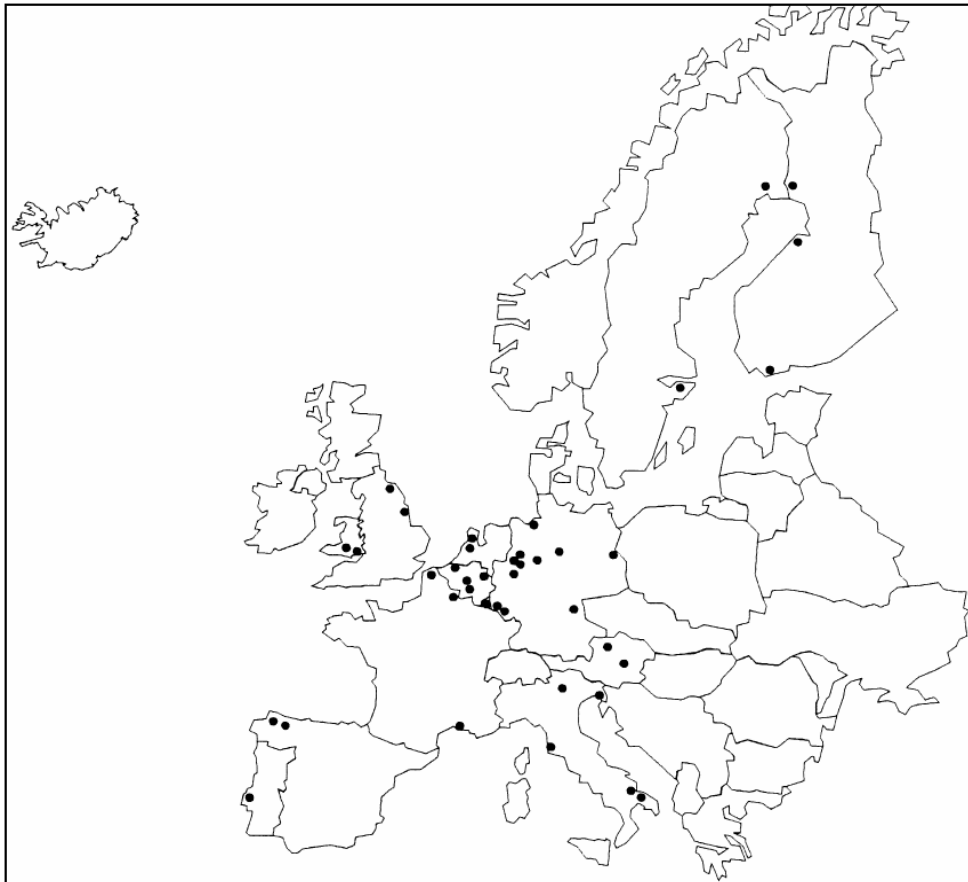
A nyersacéltermelés az EU-ban 1985 és 1994 között évente 1,2%-kal nőtt. A három új tagállam - Ausztria, Finnország és Svédország - belépésével 1995-ben 156 millió tonnára nőtt a nyersacéltermelés, szemben a kelet-európai 112 millió tonnával, Japán 102, az USA 94 és Kína 93 millió tonna termelésével. 1999-ben az EU nyersacéltermelése 155,3 millió tonna volt, a világ összes acéltermelésének 19,7%-a.

Az EU-ban a konverteracél-termelés a vizsgált időszakban gyakorlatilag azonos szinten maradt, míg az elektroacél-termelés fokozatosan nőtt és 1995-ben elérte a 34,4%-os részesedést. Mindazonáltal a nagyolvasztó-oxigén konverter-út az előrejelzés szerint (Luengen, 1995) legalább húsz évig uralkodó marad az acélgártásban.

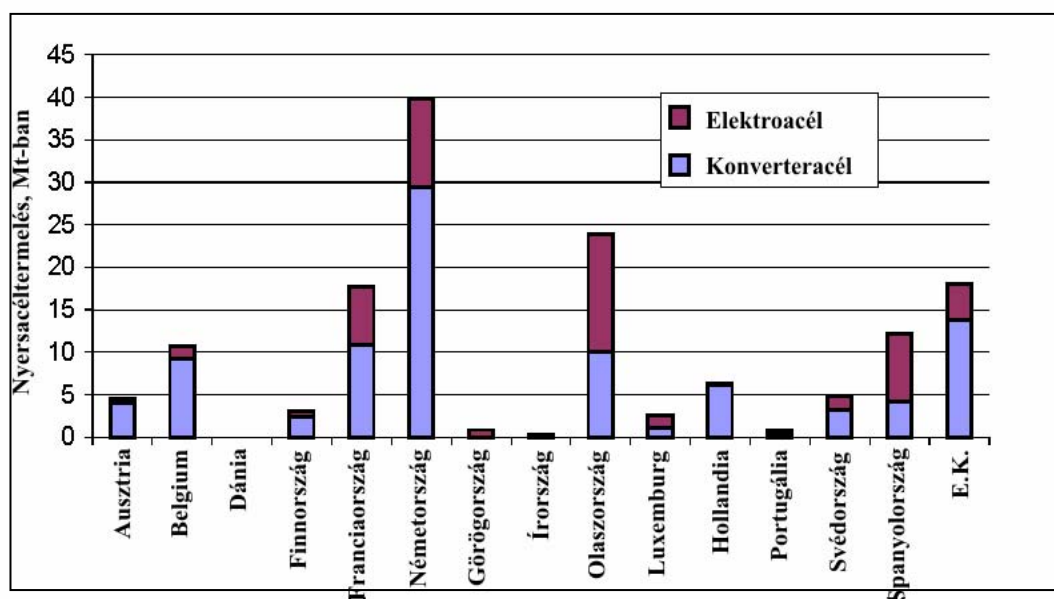
Az átlagos fajlagos látszólagos acélfogyasztás 1995-ben az EU-ban 367 kg/fő volt (az ír 152 kg/fő-től az olasz 533 kg/fő-ig szórt).

## 1.2 Az acéltermelés földrajzi eloszlása az EU-ban

Az 1.3. ábra az integrált acélművek földrajzi elhelyezkedését mutatja az Európai Unión belül. Az elektrokemencék száma jóval nagyobb, 1997-ben elérte a 246-ot az EU 15-ben. Ezek elhelyezkedése nem szerepel az 1.3. ábrán.



1.3. ábra: Az integrált acélművek földrajzi elhelyezkedése az Európai Unióban



1.4. ábra: A konverter- és elektroacéltermelés az EU tagállamaiban 1996-ban - [Stat. Stahl, 1997]

Az 1.4. ábra az EU tagállamok konverter- és elektroacél-termelését tekinti át az 1996 évre. Németország adta az EU 15 acéltermelésének 27%-át, Olaszország pedig a 16%-át.

1996-ban az EU-ban az átlagos termelési kapacitáskihasználás 73,3% volt (a görög 22,2%-tól a holland 93,2%-ig szórt).

A művek jellemző adatait az alábbi táblázatok foglalják össze az EU 12-re vonatkozóan:

1A táblázat: Kokszolóművek

Berendezések száma	Átlagos életkor [év]	Átlagos életkor az utolsó korszerűsítés óta [év]	Átlagos kamraszám	Átlagos kamraméret			Termelés 1993-ban [Mt]
				mag. [mm]	szél. [mm]	hossz. [mm]	
106	27	17	40	4957	438	13590	34.1

A különböző méretű kokszoló kamrák Éves Műszaki Kapacitása (ATC) [kt/a-ban], a különböző méret-osztályokra vonatkozó berendezésszám (No.) és minden méret-osztály Összes Éves Műszaki Kapacitása (TATC) [Mt/a-ban] az alábbi:

ATC	<200	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799	800-899	900-999	>1000
No.	35	25	16	9	3	13	2	0	0	3
TATC	5.43	6.03	5.31	3.84	1.59	8.22	1.43	-	-	4.17

1B táblázat: Zsugorítóművek (zsugorító szalagok)

A berendezések száma	Átlagos életkor	Átlagos kor az utolsó korszerűsítés óta [év]	Átlagos szalagszélesség [mm]	Átlagos összes szalagfelület [m <sup>2</sup> ]	Átlagos éves műszaki kapacitás [kt/a]
47	23	16	3420	252	2521

A zsugorító szalagok nagyság szerinti megoszlása az összes szalagfelület- (**Area**) m<sup>2</sup>-ben - alapján, a berendezések száma (**No**) a különböző méretosztályra vonatkozóan és az Összes Éves Műszaki Kapacitás (**TATC**)[Mt/a] mindegyik méretosztályra:

Area	<100	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	>600
No.	5	19	7	4	8	2	2
TATC	2.8	31.9	17.3	13.1	37.9	10.6	4.9

1C táblázat: Nagyolvasztók

A berendezések száma	Átlagos életkor [év]	Átlagos kor a legutolsó korszerűsítés óta [év]	Átlagos hasznos térfogat [m <sup>3</sup> ]	Átlagos medence-átmérő [m]	Átlagos napi műszaki kapacitás [t/24h]
81	28	7	1721	9.4	3931

A nagyolvasztók nagyságmegoszlása medenceátmérőjük [HD] (m) alapján, a különböző nagyságosztályok szerinti berendezések száma (No) és az Összes Napi Műszaki Kapacitás (kt/24h)(TDTC) az egyes nagyságosztályokra vonatkozóan:

HD	4.0-5.99	6.0-6.99	7.0-7.99	8.0-8.99	9.0-9.99	10.0-10.99	11.0-11.99	12.0-12.99	>13
No	4	6	5	15	20	17	7	1	6
TDTC	3.0	8.6	9.0	38.5	67.6	83.6	41.8	7.0	59.3.

1D táblázat: Oxigénes konverterek

A berendezések száma	Átlagos élettartam [év]	Átlagos élettartam az utolsó korszerűsítés óta [év]	Átlagos adagnagyság adag kapacitás [t/adag]
95	22	11	204

Az adagnagyságok (C/H) és a berendezések száma a különböző nagyság-osztályokra (az Összes Éves Műszaki Kapacitás (TATC) adatai nem állnak rendelkezésre):

C/H	50-99	100-149	150-199	200-249	250-299	300-349	350-399
No.	17	12	17	18	13	13	5

1E táblázat: AC villamos ívkemencék (A 4 DC-kemencét nem tartalmazza)

A berendezések száma	Átlagos életkor [év]	Átlagos kor az utolsó korszerűsítés után [év]	Átlagos adagra vonatkoztatott kapacitás [t/adag]	Átlagos trafókapacitás [1000kVA]	Átlagos éves műszaki kapacitás [kt/a]
203	21	9	73	44	335

A villamos ívkemencék nagyság-megoszlása az egy adagra jutó kapacitás (C/H) [t/adag], a különböző nagyság-osztályra vonatkozó berendezésszám (No.) és az egyes osztályokra vonatkozó Összes Éves Műszaki Kapacitás (TATC) [Mt/a] alapján:



C/H	<20	20-	40-	60-	80-	100-	120-	140-	160-	>180
	39	59	79	99	119	139	159	179		
No.	19	27	28	44	33	18	18	9	4	3
TATC	0.3	2.6	5.3	15.6	15.1	9.3	9.6	7.2	1.8	1.4

1F táblázat: Buga vagy blokkbuga folyamatos öntése

A berendezések Száma	Átlagos életkor [év]	Átlagos kor az utolsó fontos korszerűsítés óta [év]	Oxigénnel olvasztó üzemhez kapcsolt berendezések száma	Átlagos éves műszaki kapacitás [kt/a]
149	16	8	30	514

Az Éves Műszaki Kapacitás (ATC) [kt/a] a különböző nagyságú buga-és blokkbuga-folyamatos öntőművekre, a különböző nagyságosztályba tartozó berendezésszám (No.) és minden egyes osztályhoz tartozó Összes Éves Műszaki Kapacitás (TATC) [Mt/a]:

ATC	<200	200-399	400-599	600-799	800-999	1000-1199	>1200
No.	17	47	29	29	18	4	5
TATC	2.3	14.1	14.3	20.0	15.5	4.2	6.2

Az 1970-es és 1980-as években az acélipar gazdaságosságára rendkívül pozitív hatást gyakorolt a folyamatos öntés fejlesztése. A 90-es években azonban nem volt jellemző radikálisan új technológia bevezetése az EU-ban. A hatékonyságot azonban jelentősen javították a teljes termelési láncban, erőteljesen csökkentették az energiafogyasztást és a légszennyezést a termékminőség javítása mellett.

1993 óta Németországban három, Belgiumban kettő és Franciaországban egy DC-villamos ívkemencét állítottak üzembe.

### 1.3 Beruházások és foglalkoztatottság az EU vas-és acéliparában

A beruházások ráfordítása 1991-ben 5.9 milliárd Ecu, 1994-ben 2.7 milliárd Ecu volt az EU 12-ben, 1996-ban pedig 4.0 billió Ecu az EU 15-ben. Ebből kb.16% jutott a nyersvasgyártásra, 13% az elektroacélgyártásra, 4% a konverteracélművekre, 7% a folyamatos öntőművekre, 31% a hengerművekre, a többi pedig a bevonásra és egyebekre.

A foglalkoztatottság az 1990-es évek alatt folyamatosan csökkent az EU vas-és acéliparában a stabil termelési szint és a racionalizálás nyomán. A termelékenység 1985 és 1994 között 64%-kal nőtt. 1995-ben 330 000 fő volt a foglalkoztatottak száma az EU 15-ben.

### 1.4 A gazdasági helyzet

A globalizációnak jelentős hatása volt az acéliparra és ez a hatás tovább folytatódik. Az ipar szerkezetátalakítása intenzív. Új acélmű-konceptciók láttak napvilágot (pl. mini-elektroacélművek, új koncepciók az elektrókemencékre, új öntéstechnikák és direkt vagy olvadékredukciós eljárások). Jobb piaci versenyfeltételek meggyorsíthatják ezt a szerkezetátalakítást és bátoríthatják a konszolidációt az acéliparában.

## 1.5 A vas-és acélipar környezetrelevanciája

A vas- és acélipar nagy anyag- és energia felhasználó. Az EU 15 1995-ben 148 Mt vasércet, 79.3 Mt acélhulladékot, 62.0 Mt szenet, kb. 7.0 Mt égetett meszet, kb. 13.0 Mt mészkövet, 4.0 Mt fűtőolajat és kb. 3.2 Mt hozaganyagot - azaz összesen 316.5 Mt -t - használt fel és ebből 155.8 Mt acélt állított elő a füstgázok és szilárd hulladékok mellett.

A légszennyezés továbbra is fontos téma. Az integrált acélművekben a zsugorítóműből származik a levegőbe jutó emissziók legnagyobb hányada. Az 1.8. ábra az integrált acélmű egyes üzemeiből származó relatív légszennyezését mutatja be. A relatív emisszió értéke a legnagyobb emisszióknak - jelen esetben a zsugorítóművének - mint 100%-nak százalékban kifejezett aránya. A legnagyobb átlagos emisszió abszolút fajlagos mennyisége is fel van tüntetve.

A nagyolvasztóknak, konvertereknek, kokszolóknak és az elektrókemencéknek jelentős relatív százalékos poremissziós hányada van. Az első lépés a levegőszennyezés szabályozása irányában a por összegyűjtése és leválasztása.

Az 1.2 táblázat az EU 15 vas-és acéliparának részesedését mutatja be az összes emissziókban.

Paraméter	Év	Emissziók az EU 15-ben [t/a]	A vas-és acélipar részesedése [%]
SO <sub>2</sub>	1994	12088000* <sup>1,2</sup>	ca.1.5* <sup>6</sup>
NO <sub>x</sub>	1994	12435000* <sup>1,2</sup>	ca.1* <sup>6</sup>
Cd* <sup>3</sup>	1990	200	19
Cr* <sup>3</sup>	1990	1170	55
Cu* <sup>3</sup>	1990	3040	5
Hg* <sup>3</sup>	1990	250	3
Ni* <sup>3</sup>	1990	4900	3
Pb* <sup>3,4</sup>	1996	12100	9* <sup>7,8</sup>
Zn* <sup>3</sup>	1990	11100	35
PCDD/F* <sup>5</sup>	1995	5800 g I-TEQ	19

\*1 áramfejlesztés nélkül

\*2 adatforrás:EEA,1997

\*3 adatforrás: TNO Report, 1997; a számok integrált acélművekre vonatkoznak

\*4 az adatokat korrigálták a gépkocsik legújabb, jelentős ólomemisszió csökkenése miatt(UN-ECE Lead,1998)

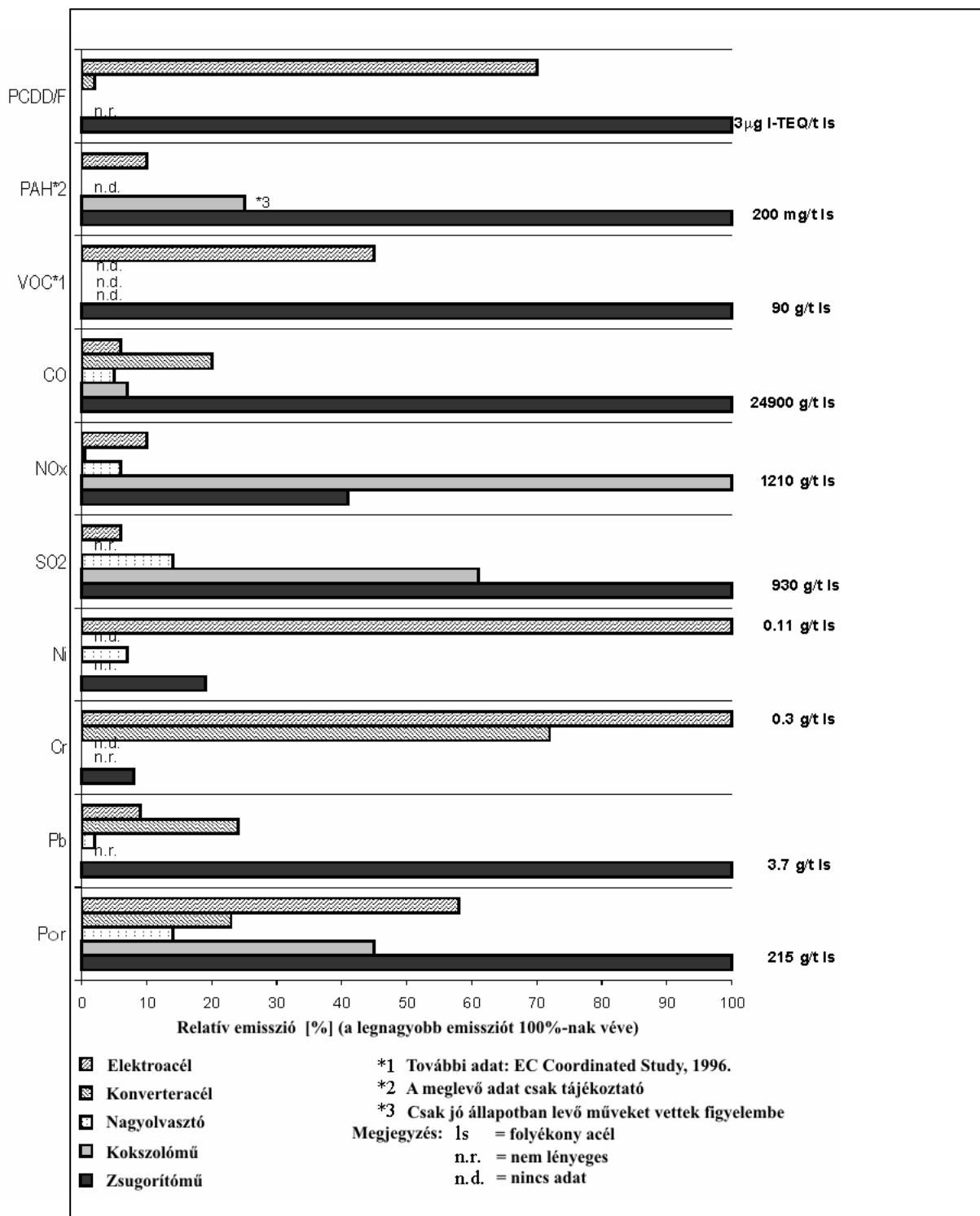
\*5 adatok a LUA NRW, 1997-ből

\*6 a 3.fejezetben megadott emissziós tényezőből számítva

\*7 az ólomnak a benzinből való elhagyása nyomán nőni fog a százalék

\*8 az 1.8 ábra adataival egyeztetve a százalék csak 4%

1.2 táblázat: Az integrált acélművek és az elektróacélművek részesedése az összes emisszióból az EU 15-ben



1.8. ábra: A zsugorító művekből, kokszolókból, nagyolvasztókból, oxigénes konverterekből és elektrókemencékből származó különböző légszennyezők relatív emissziója

A szilárd maradékok, hulladékok és melléktermékek mennyisége általában nagy (1.3.táblázat). A reciklálás és újrahasznosítás elég magas szintet ért el, de nagymértékben szór az EU-n belül és előnyöket jelentene a további optimalizálás.

### 1.5.1 Szilárd hulladékok/maradékok

1.3. táblázat: Integrált acélművekből és elektroacélművekből származó szilárd maradékok/hulladékok/melléktermékek átlagos fajlagos mennyisége és átlagos talajfeltöltéses elhelyezése

		Melléktermékek	Fajlagos mennyiség [kg/t LS]*1	Terepfeltöltésre használva, [%]
Zsugorítóművek*3				
-	por		0.9-15	?
Kokszolóművek*4				
Nagyolvasztók				
-	Öntőház-por		?	?
-	Por és iszap a	BF-gáztisztításból	14	33
-	Salak		280	2
Nyersvaskéntelenítés			9-18	41
Konverteracélgyártás				
-	Durva porok és iszapok a BOF-gázból		3-12*8	42
-	Finom porok és iszapok a BOF-gázból		9-15*8	12
-	Konvertersalak		99	26
-	salakok a nyersvasüstből, keverőből, acél-			
	üstből és közbenső üstből		34	9
-	salakok a szekundermetallurgiából		11*5	?
-	bontott tűzállóanyagok		6	76
villamos ívkemence				
-	salak			
	-	karbonacél	129	69
	-	gyengén ötvözött acél	109	59
	-	erősen ötvözött és rozsdamentes ac.	161	34

-	por a kemence- és épületelszívásból		15* <sup>6</sup>	63* <sup>6</sup>
Folyamatos öntés			4-6	_* <sup>7</sup>

\*1 az alkalmazott átszámítási tényező (az összes európai konverterek súlyozott átlaga): 940 kg nyersvas/t LS

\*2 a további százalékot reciklálják a műben vagy művön kívül használják fel

\*3 a zsugorítószalagról, hűtőről és az üzem elszívásából származó port rendszerint teljesen a szalagra vezetik vissza, kivéve azt a néhány esetet, amikor az elektrosztatikus leválasztó utolsó fokozatából származó port talajfeltöltésre használják; finommosó alkalmazása esetén a szennyvíz kezeléséből származó iszapot is talajfeltöltésre használják

\*4 a benzol-,kátrány-, naftalin-, kénsav- és elemi kén-melléktermékeket teljesen reciklálják vagy újra felhasználják

\*5 három konverteres acélmű átlaga

\*6 karbon-, gyengén ötvözött és erősen ötvözött/rozsdálló acélok átlaga

\*7 a hengerművi revét általában a zsugorítóműbe reciklálják

\*8 az [EUROFER BOF,1997]-ből

Amennyiben másképp nincsen jelölve, minden adat az [EC Study, 1996]-ból.

LS=folyékony acél; BF=nagyolvasztó; BOF=(bázikus) oxigén konverter

Az energiafelhasználás jelentős. 1 t folyékony acél fajlagos energiafelhasználása a kokszoló/zsugorító/nagyolvasztó útra kb. 19.3 GJ (Lüngen,1995 és Peters, 1994 , valamint a 4.1, 5.1., 6.2., 7.1 és 8.2. táblázatok alapján számítva). Ennek túlnyomó hányada szénenergia.

A villamos áramfelhasználást is magába foglalja, ami kb. 1.6 GJ/t LS (az áramfelhasználást hármas szorzóval vették figyelembe a primérenergia figyelembevétele miatt.

Az elektroacélgyártás fajlagos energiafelhasználása kb. 5.4 GJ/t LS (a 10.1.táblázatnak megfelelően). Az áramfelhasználást itt is hármas szorzóval vették figyelembe.

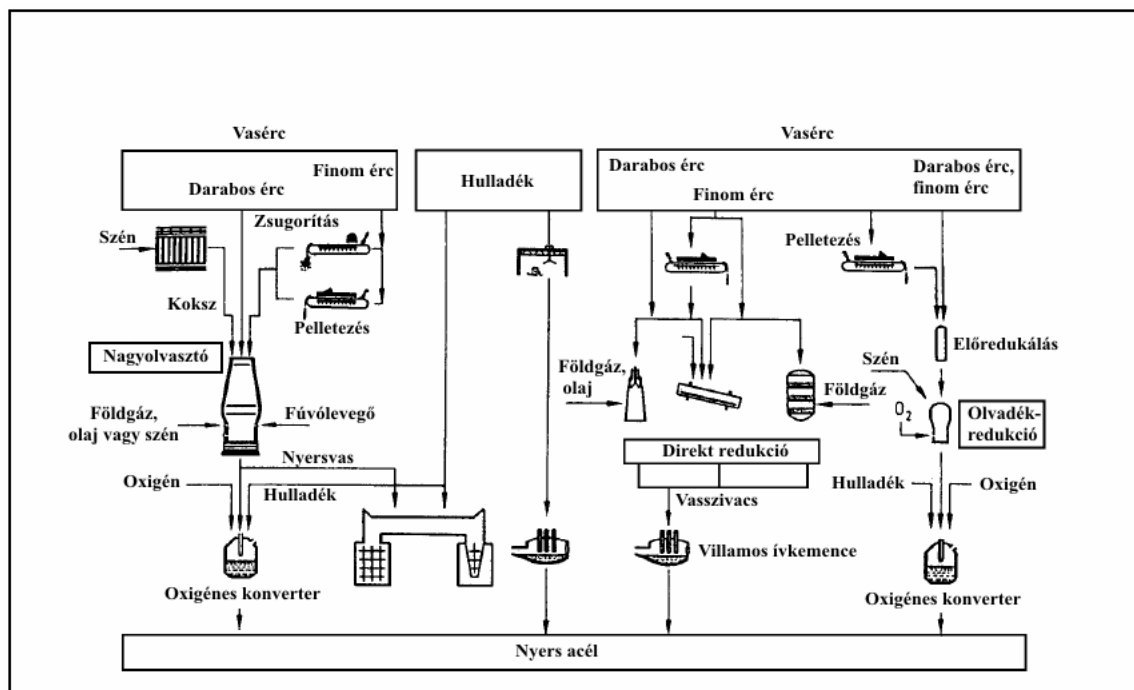
## **2 NYERSANYAGOK TÁROLÁSA ÉS KEZELÉSE**

A vas-és acélgártás nagytömegű nyersanyagáramlással jár. Az ércek, pelleték, acélhulladék, szén, égetett mész, mézskő, némely esetben a nehézőlaj és műanyag és az adalékanyagok általában közúti, vasúti vagy vízi szállítással jutnak a művekhez. Ezeket az anyagokat és a közbenső termékeket, például a kokszot és a zsugorítmányt tárolni, majd az egyes termelőüzemhez - általában szállítószalagon - eljuttatni kell. A tárolókból és a szállítószalagokról a szél hatására jelentős poremisszió jöhet létre. A tető nélküli tárolók esetében figyelmet kell fordítani a hengerműből származó, kilúgozható anyagokat - pl. szénhidrogének - tartalmazó levegő kezelésére a talaj és a talajvíz szennyezésének megelőzése érdekében.

### 3 AZ ACÉLGYÁRTÁS ÁTTEKINTÉSE

#### 3.1 A különböző acélgártó eljárások

Jelenleg négy eljárást használnak az acél előállítására: a hagyományos nagyolvasztó-oxigénes konverter módszert, a hulladékot megolvasztó elektroacélgártást, az olvadékredukciót és a direkt redukciót (3.1. ábra)



3.1. ábra Nyersacél-gyártás módszerei – [Ullmann, 1994]

Az olvadékredukciós és a direkt redukciós eljárással a világ acéltermelésének csupán 4%-át állították elő 1996-ban. A direkt redukciós eljárással gyártott vas (DRI) termelése Európában 500000 t/a, azaz a világ acéltermelésének 1.5%-a. Az EU 15-ben 1995-ben 400000 t volt az elektroacélgártás DRI-felhasználása, de nő az érdeklődés irányában. Az EU 15-ben jelenleg nincs olvadékredukcióval dolgozó mű.

#### 3.2 Az integrált acélművek

A négy lehetséges acélgártó eljárás közül a hagyományos nagyolvasztó/oxigénes konverter-út a legösszetettebb és a legnagyobb területet igénylő eljárás. Számos üzemének egymástól való függőségét mutatják be az alábbi fejezetek.

##### 3.2.1 A folyamat áttekintése

Az integrált acélmű folyamatainak áttekintését adja a 3.3. ábra, érzékeltetve a legfontosabb anyagok bevitelét és keletkezését a lehetséges emissziókkal együtt.

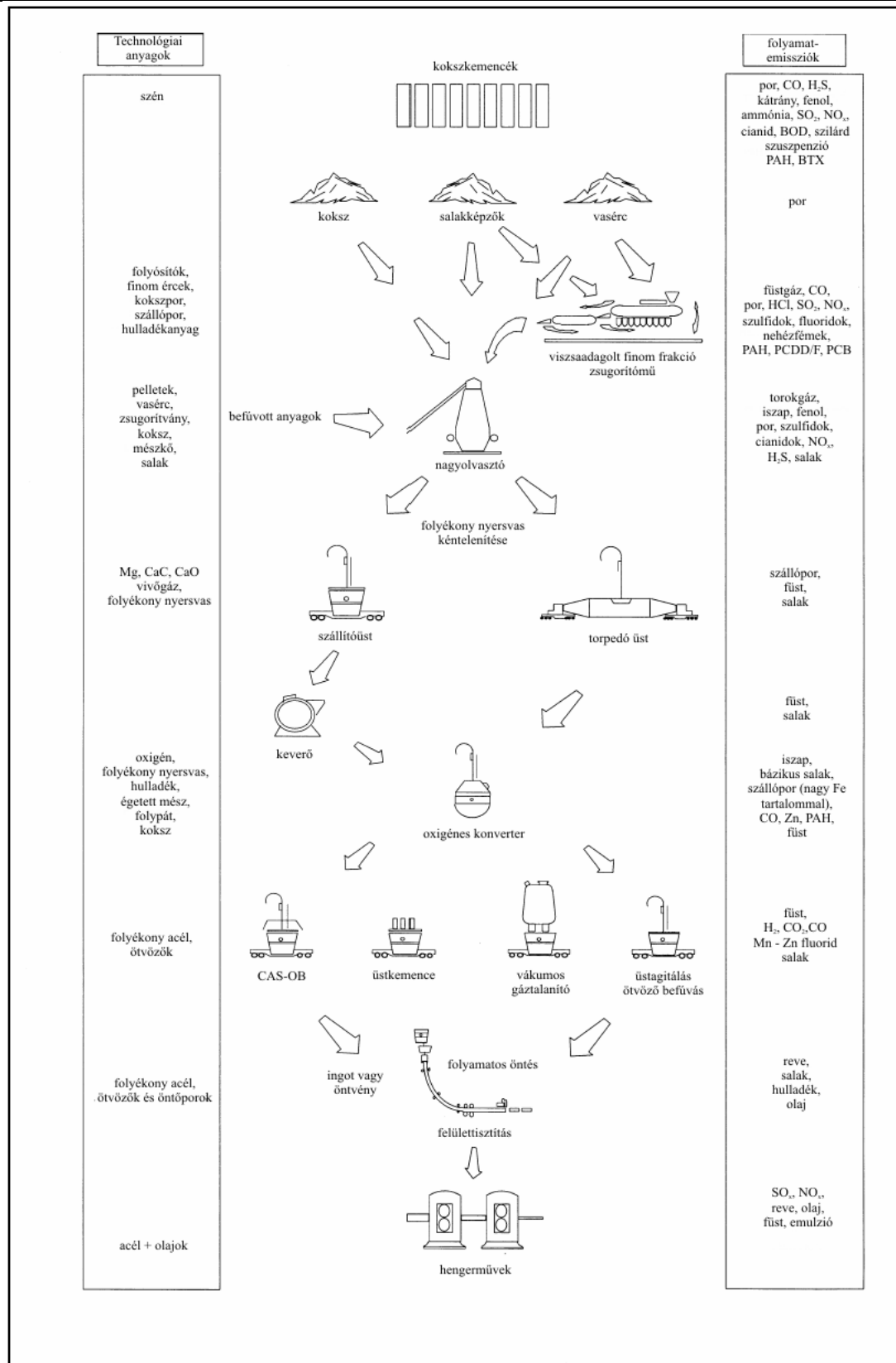
A nagyolvasztóból lecsapolt folyékony nyersvasat az oxigénes konverterhez szállítják, ahol a kb. 4%-os karbon tartalmat 1% alá csökkentve nyerik az acélt. A folyékony nyersvasat általában kéntelenítik a konverterbe öntés előtt, míg a folyékony acélt üstmetallurgiai eljárással kezelik a kívánt acélminőség biztosítása céljából.

Az általában folyamatos öntéssel nyert bugát, lapos bugát vagy blokkbugát hengerművekben alakítják a piaci igényeknek megfelelő méretű termékké.

### **3.2.2 A különböző termelő folyamat/egység egymástól függése az energiára, a melléktermékekre/maradékokra, a levegőre és a vízre tekintettel**

A 3.3. ábrán bemutatott üzemek egymással nemcsak az anyagáramoltatás révén vannak összekötésben, hanem a víz és az energia tekintetében is. Ezeket az egymástól függőségeket mind az emissziók minimalálása, mind a termelékenység optimalálása és a költségek csökkentése érdekében ki is használják.

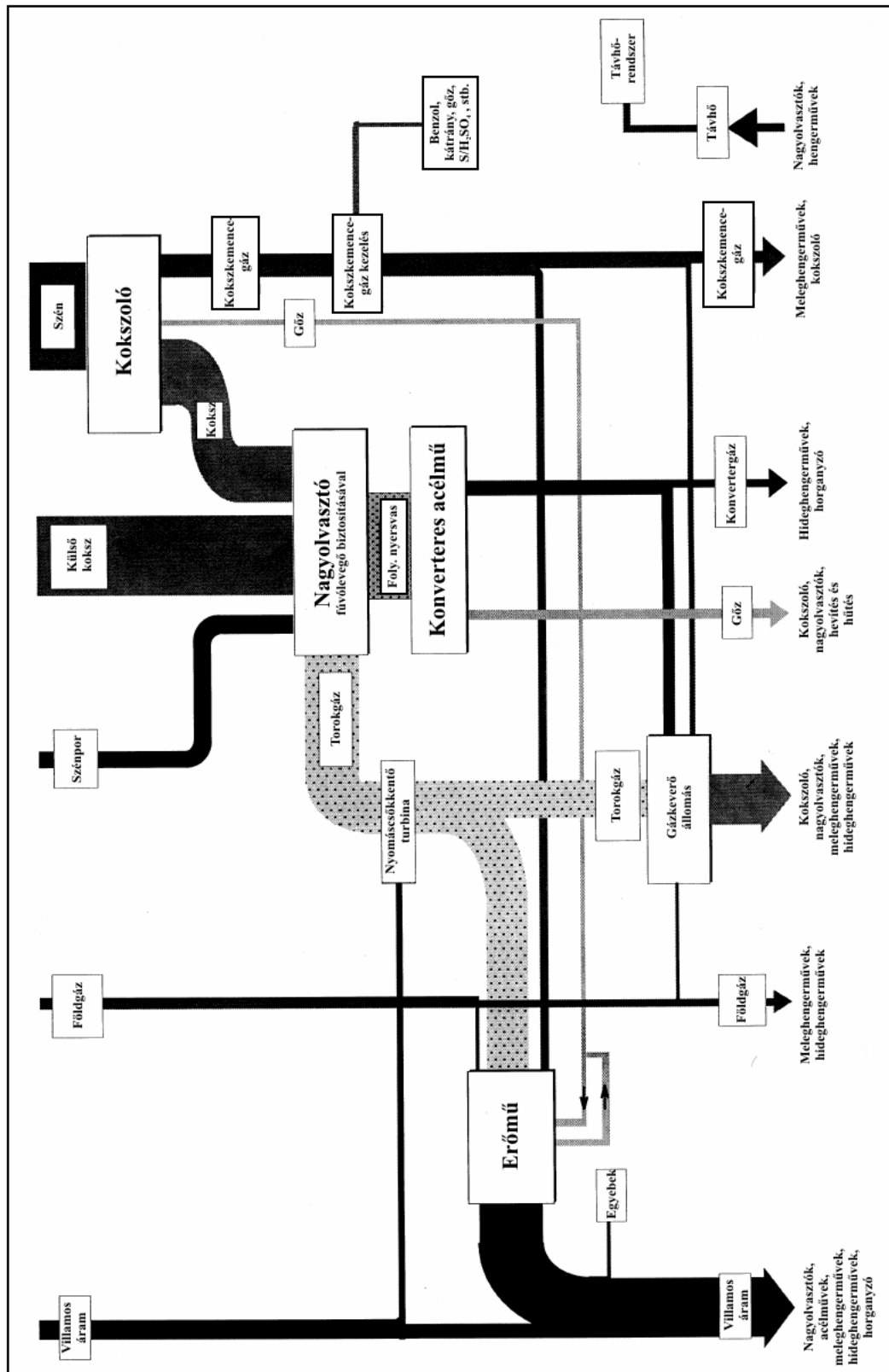




3.3.ábra: Egy integrált acélmű termelési útjának áttekintése - [UK IPR 2/1, 1994]- (pelletező üzem nem szerepel az ábrán, mivel Európában csak egy integrált acélműben van ilyen)

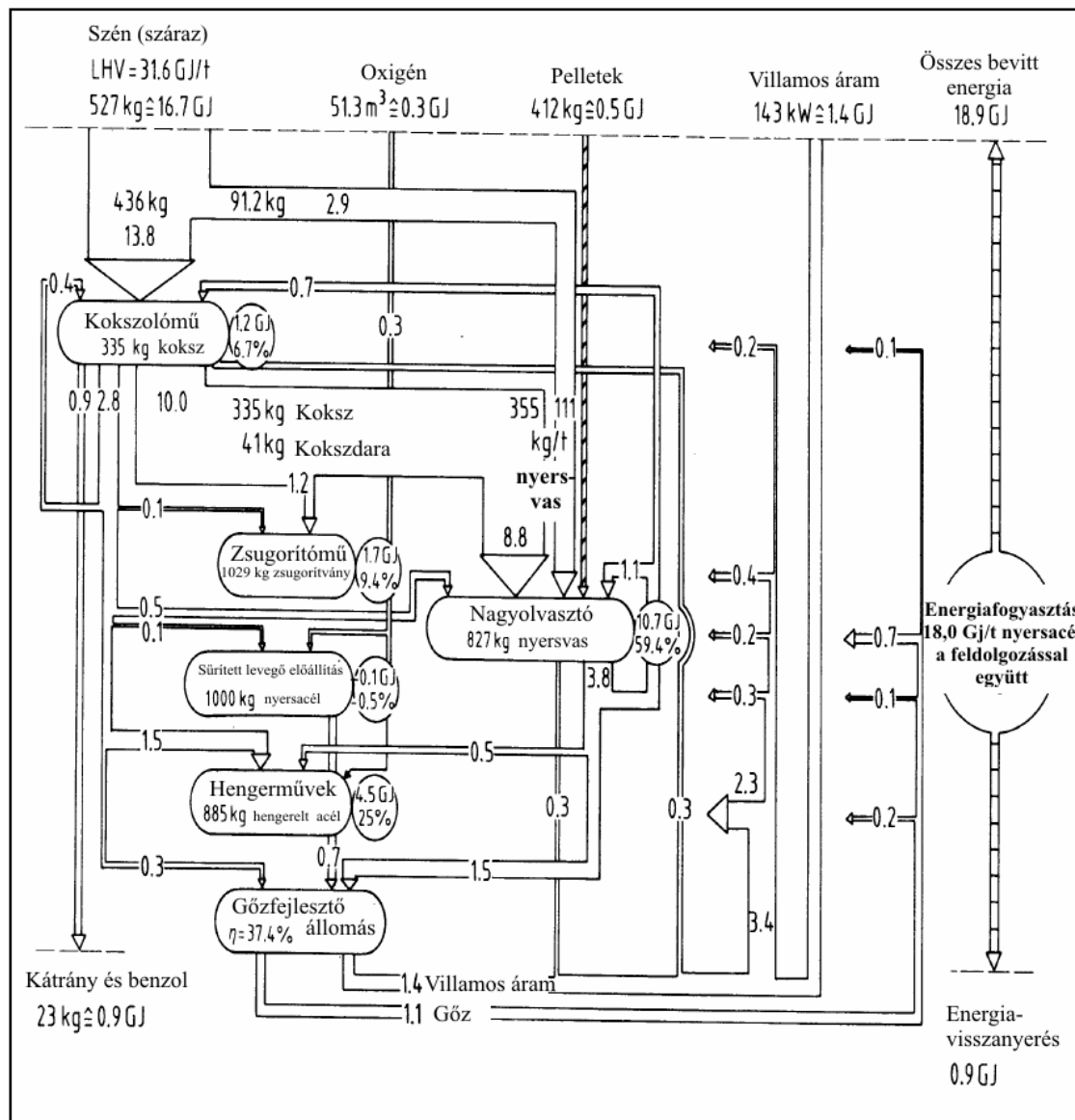
### 3.2.2.1 Energia

Az egymástól történő függőségek közül az energiakapcsolódások a legösszetettebbek. Ezt érzékelteti a 3.4.ábra.



3.4.ábra: Példa az energia bevitelre, kinyerésre és belső áramlásra egy korszerű integrált acélmű energiahasznosítási rendszerében - [Joksch, 1998].

A 3.5.ábra a különböző energiátípusok kvantitatív megoszlását mutatja be egy integrált acélműben.



3.5.ábra: Egy tonna nyersacél tipikus energiaigény-megoszlása egy integrált acélműben [Ullmann, 1989].

Az ábrában szereplő minden adat a teljes energia bevitelre vonatkozik, beleértve a külső áramforrásokat is. Az importált energia kb. 88%-a szénből származik, amelyet koksszá alakítanak. Az acélművek összes energiaigényének mintegy 60%-át a nagyolvasztók, 25%-át a hengerművek, 9%-át a zsugorítóművek és kb.7%-át a koksizolók használják fel.

### 3.2.2.2 Szilárd maradékok/melléktermékek

Az integrált acélműben a zsugorítómű fontos szerepet játszik olyan maradékok feldolgozásában, amelyeknek nincs megfelelő felhasználási alternatívája. A maradékoknak csupán kis hányadát irányítják talajfeltöltésre. Ez általában a torokgáz tisztításából származó finom porból, a konvertergáz mosásból származó finom porból (ha nedves tisztítást alkalmaznak) és bizonyos

---

esetben a zsugorítószalag gázainak utolsó elektrosztatikus tisztítási fokozatából származó alkáliloridokból és nehézfémkloridokból áll.

### 3.2.2.3 Víz

Az integrált acélmű zárláncú vízgazdálkodása elsősorban a helyi feltételektől, mindenekelőtt pedig a frissvíz rendelkezésre állásától és a törvényes előírásoktól függ. Utóbbiak a hűtővíz- és az anyagokkal szennyezett szennyvíz-kibocsátás minimalizálását tűzik ki célul, de van olyan hatóság is, amely nem tűri a hűtőtornyokból felszálló gőzfelhőket sem és így nem lehetséges a vízűtéses reciklálás.

A friss víz korlátlan rendelkezésre állása esetében a fajlagos vízfogyasztás akár a 100 m<sup>3</sup>/t acélszintet is elérheti, míg vízszűkös területeken néha 5 m<sup>3</sup>/t acélnál is kevesebb, amikor is az egyes üzemek egymástól függősége még erőteljesebb.

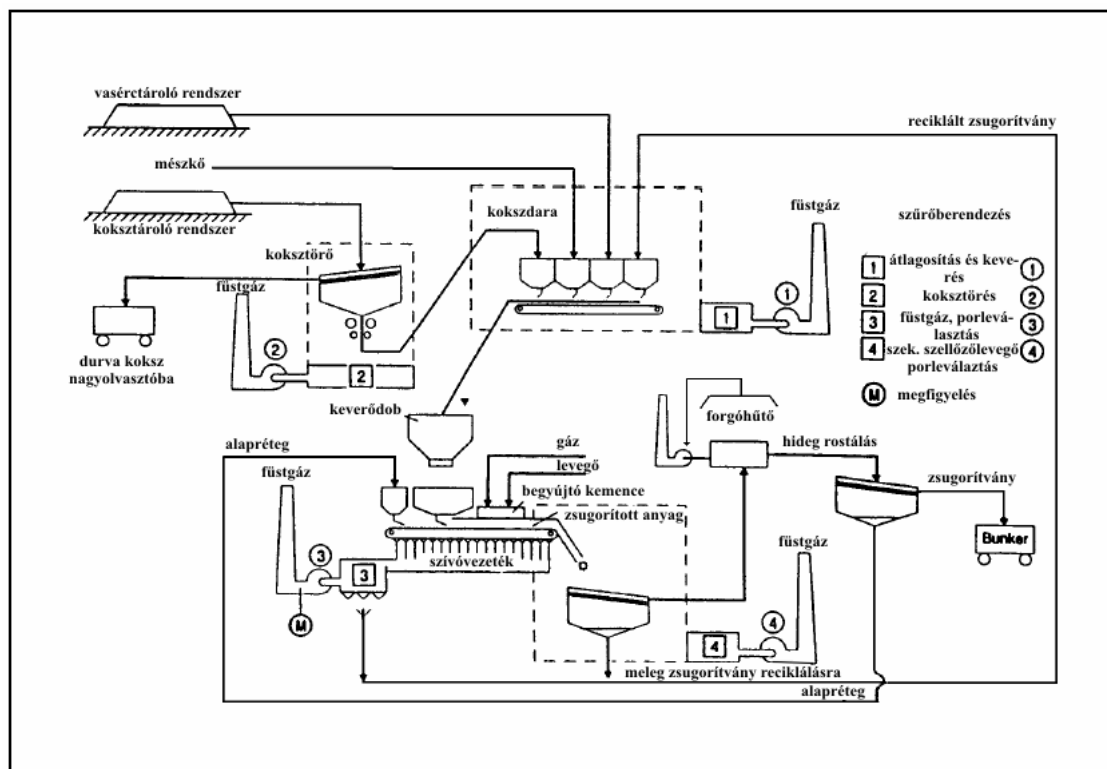
## 4 ZSUGORÍTÓMŰVEK

### 4.1 Alkalmazott eljárások és technológiák

A zsugorítvány vastartalmú anyagok agglomeráló eljárással nyert terméke. A nagyolvasztó elegyének nagyobb részét képezi.

A 4.2. ábra egy zsugorítómű vázlatos képét mutatja be. Az ábrán a technológiai folyamathoz szükséges berendezések és a felhasznált anyagok láthatók.

A zsugorítómű elegye finom vasérc, adalékok, vastartalmú reciklált anyagok az acélmű más üremeiből, például a nagyolvasztó torokgázának tisztítása során nyert durva por és iszap, hengerműi reve, folyamatos öntés hulladéka stb., amelyekhez tüzelőanyagként kokszdarát adagolnak.



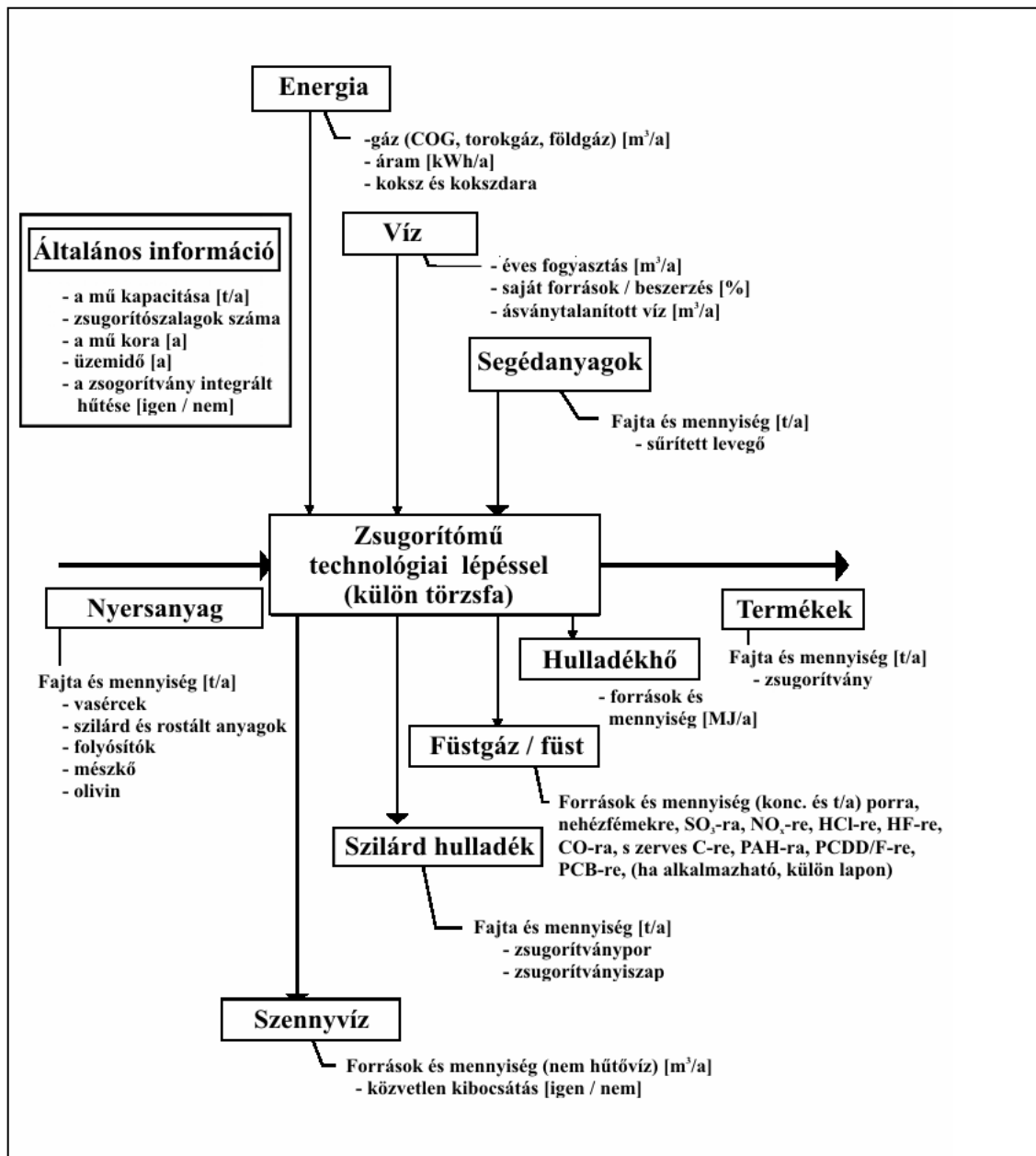
4.2.ábra: Zsugorítómű elvi ábrázolása a főbb emissziós pontokkal - [Theobald I, 1995]

A legfontosabb környezethatás a zsugorítószalagról származó füstgáz-emisszió, amely többek között port, nehéz fémeket,  $\text{SO}_2$ -t, HCl-t, HF-et, PAH-okat és szerves klórvegyületeket (pl. PCB-t és PCDD/F-t) tartalmaz.

A fejezet a továbbiakban a zsugorítandó nyersanyagok átlagosítását és keverését, a zsugorítószalagon végbement folyamatokat, továbbá a meleg zsugorítvány rostálását és hűtését tárgyalja.

### 4.2 Jelenlegi felhasználási és emissziós szintek

A zsugorítómű teljes anyagáramlását a 4.4.ábra érzékelteti. Az ábra alkalmas arra, hogy adatokat gyűjtsünk a zsugorítóműről.



4.4.ábra: A zsugorítómű tömegáramlása

Az egy tonna folyékony acélra vonatkoztatott emissziós tényezők szerepelnek az alábbi táblázatban annak érdekében, hogy érzékeltesük az egyes termelési lépésekből származó emisszió-hozzájárulást.

4.1.táblázat: Bevitel/kihozatal-adatok négy különböző EU tagállam (Ausztria, Belgium, Németország és Hollandia) öt zsugorítóművéből

Bevitel			Kihozatal		
Nyersanyagok		Termék			
vasérc	kg/t zsugorítvány	680-850* <sup>1</sup>	Zsugorítvány	kg/t zslug.	1000.0
egyéb	kg/t zsugorítvány	37-125	Gázemissziók		
égetett mész	kg/t zsugorítvány	0.5-14	por	g/t LS* <sup>4</sup>	170-280* <sup>5</sup>
mészkö	kg/t zsugorítvány	105-190	Cd	g/t LS	0.002-0.04* <sup>6</sup>
adalékok	kg/t zsugorítvány	26-42	Cr	g/t LS	0.005-0.05* <sup>6</sup>
BFG por	kg/t zsugorítvány	11-27	Cu	g/t LS	0.007-0.16* <sup>6</sup>
recikl.anyag	kg/t zsugorítvány	42-113	Hg	mg/t LS	16-149* <sup>13</sup>
belső recikl. zslug.rostálás után	kg/t zsugorítvány	230-375	Mn	g/t LS	0.02-0.04* <sup>6</sup>
			Ni	g/t LS	0.002-0.04* <sup>6</sup>
			Pb	g/t LS	0.04-7* <sup>6</sup>
			Ti	g/t LS	0.005-0.03* <sup>6</sup>
<i>Energia</i>			V	g/t LS	0.005-0.02
COG/BFGáz/ földgáz	MJ/t zsugorítvány	57-200* <sup>2</sup>	Zn	g/t LS	0.002-1.8* <sup>6</sup>
koks	MJ/t zsugorítvány	1260-1380* <sup>3</sup>	HCl	g/t LS	17-65
vill.áram	MJ/t zsugorítvány	96-114	HF	g/t LS	1.4-3.5
			NO <sub>x</sub>	g/t LS	440-710
			SO <sub>2</sub>	g/t LS	900-1850
			CO	kg/t LS	13-43
Sűrített levegő	Nm <sup>3</sup> /zsugorítvány	1.2-3	CO <sub>2</sub>	kg/t LS	205-240* <sup>7</sup>
			VOC* <sup>8</sup>	g/t LS	150* <sup>8</sup>
			PAH* <sup>9</sup>	mg/t LS	115-915
			PCDD/F t LS	µg I-TEQ/ 0.5-6.5	
Víz	m <sup>3</sup> /t zsugorítvány	0.01-0.35	PCB* <sup>10</sup>	mg/t LS	1-13
			Maradékok/melléktermékek		
			porok* <sup>11</sup>	kg/t LS	0.9-15
			iszap* <sup>12</sup>	kg/t LS	0.3
			Szennyvíz* <sup>12</sup>	m <sup>3</sup> /t LS	0.06

\*1 1065 kg/t zsugorítványig kisebb vastartalmú ércek használata esetén

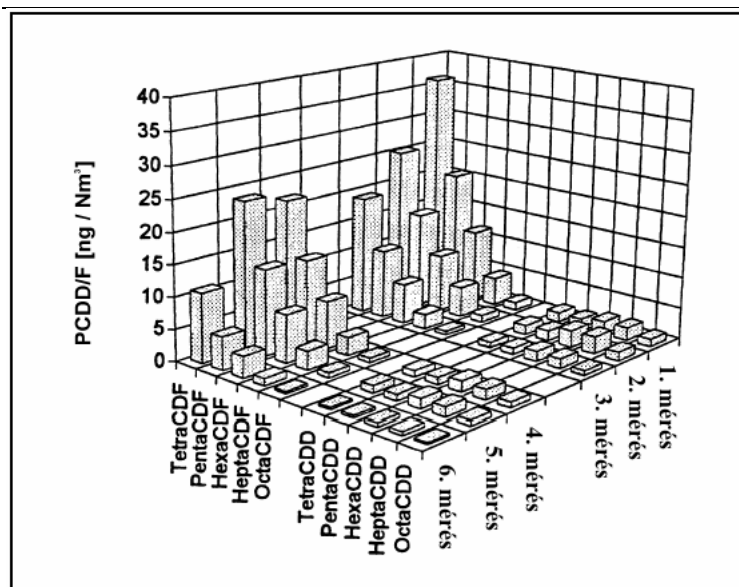
\*2 a fogyasztás a begyűjtő berendezés hatékonyságától függ

- \*3 28650 kJ/kg kocszara esetén: 445-48 kg kocszara/t zsugorítvány
- \*4 alkalmazott átalakítási tényező (az összes európai nagyolvasztók és oxigénes konverterek súlyozott átlaga): 1160 kg zsugorítvány/t nyersvas; 940 kg nyersvas/t LS
- \*5 az adatok az ESP-re vonatkoznak; ciklon esetében: 560-740 g por/t LS; ESP+zsákszűrő esetében: 10-30 g por/t LS(egy mű Európában) a szalagról; finomgázmosóból: <110 g por/t LS(két mű Európában)
- \*6 a kisebb érték az ESP utáni gyorsítás és finom gázmosó használata esetében vagy ESP és ez után kapcsolt zsákszűrő esetében
- \*7 425 kg CO<sub>2</sub>/t LS-ig , FeO-ra és CO<sub>2</sub>-re bomló vas(II)karbonátot tartalmazó vasérc használata esetében
- \*8 adat csak egyetlen műből; a VOC-t folyamatosan mérték lángionozációs detektorral (11 mérési ciklus)
- \*9 EPA 16 összege Borneff 6-ból számítva (EPA 6 = Borneff 6 x 4) 2100 Nm<sup>3</sup>/t zsugorítvány esetében
- \*10 az összes PCB(poliklórdifenilek) a (summa PCB 28+52+101+153+138+180)x5 (az [UN-ECE, 1997] szerinti faktor) és 2100 m<sup>3</sup> füstgáz/zsugorítvány mellett; adat csak két műből
- \*11 amennyiben a por egy részét talajfeltöltésre használják(por az elektrosztatikus leválasztó utolsó szakaszából)
- \*12 amennyiben finom gázmosót alkalmaznak
- \*13 nagyobbak az értékek, ha a vasércben nagyobb mennyiségű Hg van

Az anyagáramlás egyes emisszióinak áttekintése során információkat kapunk a levegőbe jutó és a vízbe jutó emissziókról, valamint a szilárd hulladékokról. Az energiaigény zárja a fejezetet.

A zsugorítószalagról származó füstgáz-emisszióval kapcsolatban részletes ismertetést kapunk a porról, a nehézfémekről (ólom, higany, cink), az alkálilóridokról, kénoxidokról, fluoridokról, nitrogénoxidokról, szénhidrogénekről poliklór-dibenzo-p-dioxinokról és furánokról(PCDD/F), poliklór-difenilekről(PCB) és további szerves-halogén vegyületekről(PAH).





4.12. ábra: Egy zsugorítómű füstgázának tipikus homológ csoport-profilja (a leválasztás előtt) 6 mérés alapján - [Pütz, 1996]

A hűtővizet általában teljesen recirkuláltatják. A füstgázkezelésből származó szennyvizet kezelni kell.

A zsugorítóműből származó szilárd hulladékokat általában a szalaghoz vezetik vissza.

A zsugorítóművek hőenergia felhasználása (szilárd tüzelőanyagok a begyűjtő tüzelőanyaggal együtt) átlagosan 1480 MJ/t zsugorítvány. Az átlagos fajlagos áramfogyasztás 105 MJ/t zsugorítvány. Amint azt a 4.1.ábra is mutatja, a koks kb. 85%-át adja a zsugorítóműbe bevitt energiának.

A zsugorítómű fő zajemisszió-forrásai a füstgáz-ventilátorok és a zsugorítvány-hűtő ventilátorok.

### 4.3 A BAT meghatározásánál figyelembeveendő szempontok.

Ez a fejezet a zsugorítóművekre vonatkozóan mind a folyamatba iktatott, mind a technológiai lánc végén alkalmazott eljárásokat tekinti át a környezetvédelem és az energiamegtakarítás szempontjából. Leírja az egyes módszereket, az elért közepes emissziós szinteket, az emisszió ellenőrzését, a különleges igényeket, a referencia-üzemeket, az üzemi adatokat, az alkalmazások gazdaságosságát és hajtóerejét azokra az esetekre, amelyekre megfelelő információk állnak rendelkezésre.

A folyamatba iktatott eljárások közül a következőket mutatja be a fejezet:

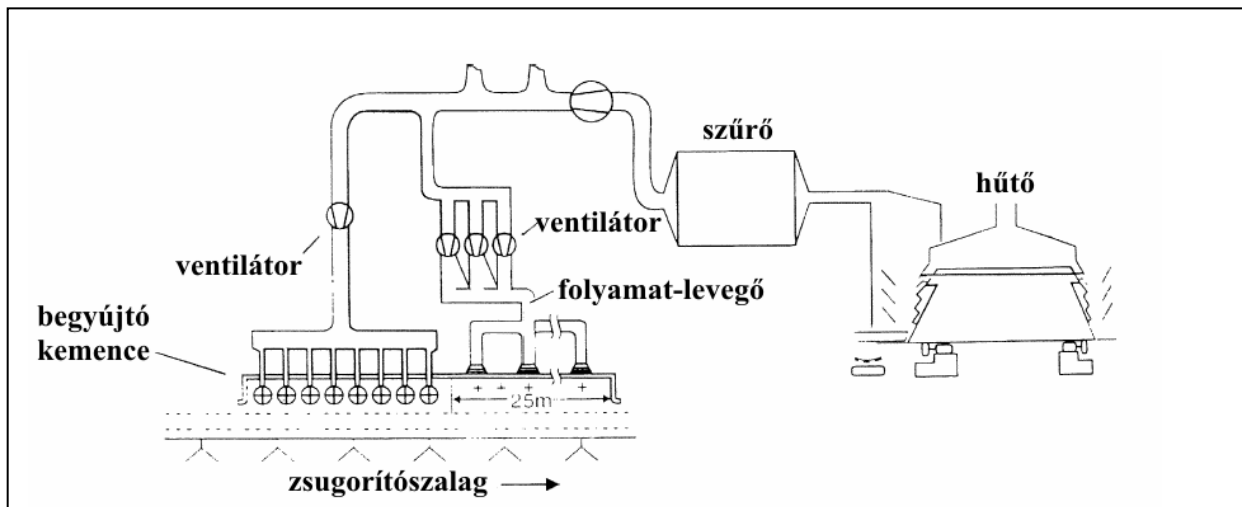
- a PCDD/F-emissziók minimalizálását célzó folyamatoptimalizálást,
- a vasat tartalmazó hulladék reciklálását a zsugorítóműbe,
- a zsugorítandó keverék illó szénhidrogén-tartalmának csökkentését,
- a keverék kéntartalmának csökkentését,
- a zsugorítás és a zsugorítvány-hűtés hővisszanyerését,
- a felsőréteg-zsugorítást,
- a füstgáz recirkuláltatását, ill. az Emisszió-Optimalizáló Zsugorítást (EOS),
- a szakaszos füstgáz-recirkuláltatást.

A technológiai lánc végén alkalmazott eljárások közül az alábbi ismert technikákat tekinti át a fejezet:

- elektrosztatikus leválasztó (ESP),
- zsákszűrőrendszer,
- ciklon,
- nedves finommosó, pl. Airfine,
- kéntelenítés,
- aktivált karbon-regenerálás(RAC),
- szelektív katalitikus redukció(SCR).

A PCDD/F emisszió minimalizálását célzó folyamatoptimalizálás vizsgálata során abból kell kiindulni, hogy ezek a vegyületek magában a zsugorítandó keverékben képződnek, valószínűleg lángfront előtt. Megfigyelték, hogy a lángfront előrehaladásának megzavarása, például egyenlőtlen üzemeltetés, nagyobb PCDD/F emissziókat eredményez. A megoldás ezért a lehetséges legegyszerűsebb zsugorító folyamat realizálása a szalagsebesség, a keverék összetétel, a rétegvastagság tekintetében, égetett mész adagolása, a hengerművi reve <1% állandó olajsint-tartása és amennyire csak lehetséges, a csatornák és az ESP szigetelése a levegőbeáramlás minimalizálása céljából.

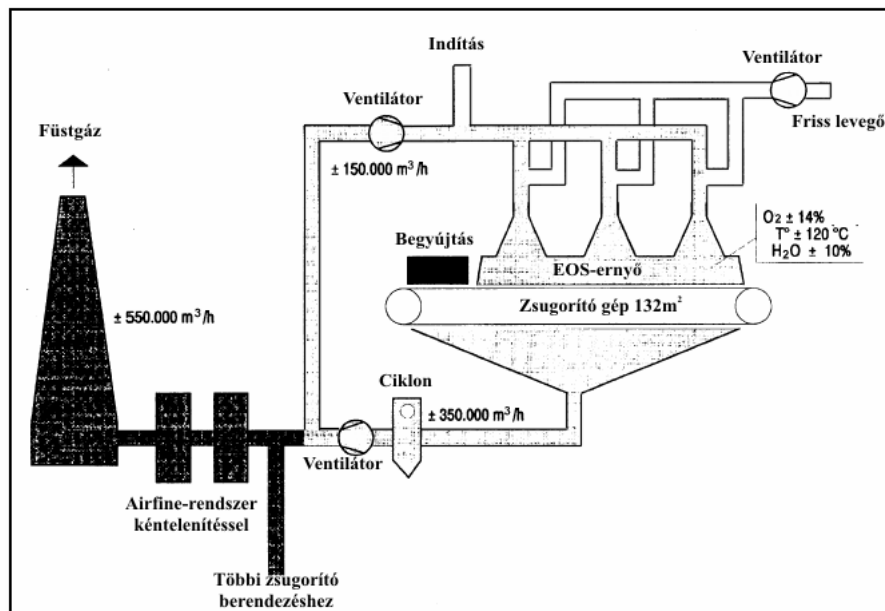
A gazdaságosság szempontjából jelentős módszer a *hűtő levegő hővisszanyerése*. Az eljárás elvét a 4.15. ábra mutatja be. A visszanyert energia meghaladhatja a 23%-ot is. 120 kg gőzt állítottak elő a zsugorítvány egy tonnájára 273°C-on és 9 bar nyomással.



4.15. ábra: A zsugorítványt hűtő levegő hővisszanyerése - [Beer, 1991]

Az olajmentesítő eljárásokkal szemben gazdaságosabb a *felsőréteg-zsugorítás*. A max. 3% olajat tartalmazó melléktermékeket/maradékokat 7%-os víztartalommal adagolják a zsugorítandó rétegre. Az így kialakított második réteget egy második begyűjtővel hevítik fel. A Voest-Alpine Stahl Donawitz-ben alkalmazott módszerrel a PCDD/F -emissziót 60-65%-kal lehetett csökkenteni. A szalag szívófelülete 120 m<sup>2</sup> és a termelékenység 35 t/m<sup>2</sup>·24h. A termelékenység nem változott a felsőréteg-zsugorítás bevezetésével. A vastartalmú maradékok/melléktermékek reciklálási kapacitása 18 t/h.

Az *emisszió-optimalizáló zsugorítás (EOS)* lényege az, hogy a zsugorítószalag teljes felületéről származó füstgázok egy részét recirkuláltatják a szalagra. A visszaáramoltatási arány 40-45%-os. Az eljárás révén 45-50%-kal tudják csökkenteni az atmoszférába jutó füstgáz mennyiségét. A reciklálás előtt ciklonban portalanítyák a füstgázt. A kokszdara-felhasználás 10-15%-kal csökkent a módszer bevezetésével., a termelékenység változatlan maradt. Az eljárás elvét a 4.17. ábra mutatja be.



4.17.ábra: Az emisszió-optimalizáló zsugorítás (EOS) elve - [Kersting, 1997]

A hagyományos és az emisszió optimalizáló zsugorítás üzemi eredményeit a 4.4. táblázat hasonlítja össze:

Megnevezés	Egység	Hagyományos zsugorítás		Emisszió optimalizáló zsugorítás	
		1994. július	1994. okt.	1994. július	1994. okt.
Összes gázáram	Nm <sup>3</sup> /h	394000	372000	328000	328000
Recirkulált gázáram	Nm <sup>3</sup> /h	0	0	153000	120000
Kibocsátott füstgáz	Nm <sup>3</sup> /h	394000	372000	175000	208000
Hőmérséklet	°C	164	114	155	149
Nedvességtartalom	%	10	11	16	19
Savharmatpont	°C	46±5	n.h.	71±5	n.h.
Szilárd részecske <sup>*1</sup>	g/t zsug.	500	n.h.	170	n.h.

Megnevezés	Egység	Hagyományos zsugorítás		Emisszió optimalizáló zsugorítás	
		1994. július	1994. okt.	1994. július	1994. okt.
O <sub>2</sub>	%	15	15	11.5	12.1
CO <sub>2</sub>	%	7.5	7	11.7	11.2
CO	%	1	1.2	1	1
SO <sub>2</sub>	g/t zsug.	1430	890	840	680
NO <sub>x</sub>	g/t zsug.	630	570	300	410
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	g/t zsug.	200	145	95	83
PCDD/F	µg I-TEQ/t zsug.	2	n.h.	0.6	n.h.

\*<sub>1</sub> ettől az időtől kezdve csak ciklonokat használtak

n.h. nem határozták meg

4.4.táblázat: A hagyományos és az emisszió optimalizáló zsugorítás (EOS) jellemzőinek és emissziós értékeinek összehasonlítása a Hoogovens IJmuiden 132 m<sup>2</sup> szívófelületű és napi 4700 t nagybázikusságú zsugorítványt előállító zsugorítóművére - [Panne, 1997]

A szakaszos füstgázrecirkuláltatás elve a szelektív elszívás a szalag alól, illetve a szalag felől. Az eljárással Japánban elért eredményeket az alábbi táblázat foglalja össze:

Jellemzők/ Komponensek	Egység	Hagyományos (kéntelenítő művel)	Szakaszos füstgázrecirkuláció	Javulás
Füstgázáram	Nm <sup>3</sup> /h	925000	665000	28%
Szilárd részecske*	mg/Nm <sup>3</sup>	50	30**	56 tömeg%
SO <sub>x</sub> ***	mg/Nm <sup>3</sup>	26	14	63 tömeg%
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	408	559	3 tömeg%
Nettó energiafelhasználás	GJ/t zsug.	1.662	1.570	6%****

\* füstgáz elektrosztatikus leválasztóval kezelve

\*\* a poremisszió csökkenését részben az ESP kijavításával érték el

\*\*\* a füstgáz egy részét kéntelenítőben kezelték

\*\*\*\* ezt a nettó energiafelhasználás-csökkenést a Japánban és az EU-ban működő zsugorítóművek különböző termelékenységi és minőségi követelményeit szem előtt tartva kell értékelni.

---

4.7.táblázat: A kibocsátott füstgázösszetételek összehasonlítása a szakaszos füstgáz-recirkulálásra áttérés előtt és után az NSC Yawata Műveinek 3.sz.Tobata-zsugorítóművében - [Sakuragi, 1994]

A *technológiai lánc végén alkalmazott eljárások* közül csaknem mindegyik európai zsugorítómű használ *elektrosztatikus leválasztót* (ESP). Ebben elektrosztatikus mezőt alakítanak ki, melynek hatására a füstgázban levő szilárd részecskék negatív töltést kapnak és a pozitív töltésű gyűjtőlemezek felé vándorolnak. A száraz elektrosztatikus leválasztóban periódikusan mozgatott vagy rezegtetett lemezekről lehulló anyag azután gyűjtőtartályba kerül.

A nedves elektrosztatikus leválasztóban vízárammal gyűjtik össze a szilárd részecskéket. Három új ESP-típust fejlesztettek ki. Ezek:

Mozgó Elektrodos Elektrosztatikus Leválasztó (MEEP):[InfoMil, 1997; Bothe, 1993]

Pulzáló energiát szuperponáló rendszer [Kim, 1998] és

Elektrosztatikus Tér-Tisztító Rendszer (ESCS). Ez nagyobb (70-200 kV) feszültséggel dolgozik [InfoMil, 1997].

ESC és MEEP típusú elektrosztatikus leválasztóval dolgozó zsugorítómű üzemi adatait tekinti át a 4.8. táblázat:

Megnevezés	Egység	Nippon Steel Corp. Wakamatsu/Yawata	Krupp Hoesch Stahl Dortmund
Termelékenység	t/h		
Tervezett		1000	625
Tényleges		600	n/m
Összes gázáram	10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /h		
Tervezett		2	1.05
Tényleges		1	n/m
Zsugorítvány	CaO/SiO <sub>2</sub>	1.92	n/m
bázicitás			
Elektrosztatikus leválasztó			
Típus		ESCS*	MEEP
Szám		2 párhuzamos	3 párhuzamos
Áram/ESP	10 <sup>6</sup> Nm <sup>3</sup> /h	0.5	2*0.3;1*0.45
Bemenő szilárd részecske konc.			
Tervezett	mg/Nm <sup>3</sup>	1000	n/m
Tényleges	mg/Nm <sup>3</sup>	n/m	700
Kimenő szilárd részecske konc.			
Tervezett	mg/Nm <sup>3</sup>	50	n/m
Tényleges	mg/Nm <sup>3</sup>	20-37	25
ESP-hatékonyság			
Tervezett	%	95	n/m
Tényleges	%	n/m	96
Melléktermék (por)			
Mennyiség	kg/t zsug.	1-2	n/m
Kezelés		reciklálva a zsugorítóba	reciklálva a zsugorítóba
Energiaigény	GJ/t zsug.	0.00036	n/m
Beruházás költsége	1x10 <sup>6</sup> Ecu <sub>1996</sub>	n/m	9, 1995-ben
Üzemi költség	Ecu <sub>1996</sub> /t	0.0018-0.0024 1986-ban (csak karbantartás)	n/m
n/m	nincs megadva		

\* ESC Electrostatic Space Cleaner Super

\*\* MEEP Moving Electrode Electrostatic Precipitator

4.8. táblázat: Zsugorítóművekben dolgozó, füstgáz kezelését szolgáló MEEP és ESCS elektrosztatikus leválasztók üzemi és gazdasági adatai - [InfoMil,1997] (rövidítve)

Az ESP-re vonatkozó adatok alapján a beruházás költsége 5-7.5 Ecu<sub>1996</sub> (Nm<sup>3</sup>/h). Az üzemeltetés költsége 0.05-0.08 Ecu<sub>1996</sub> /1000 Nm<sup>3</sup> kezelt füstgáz.

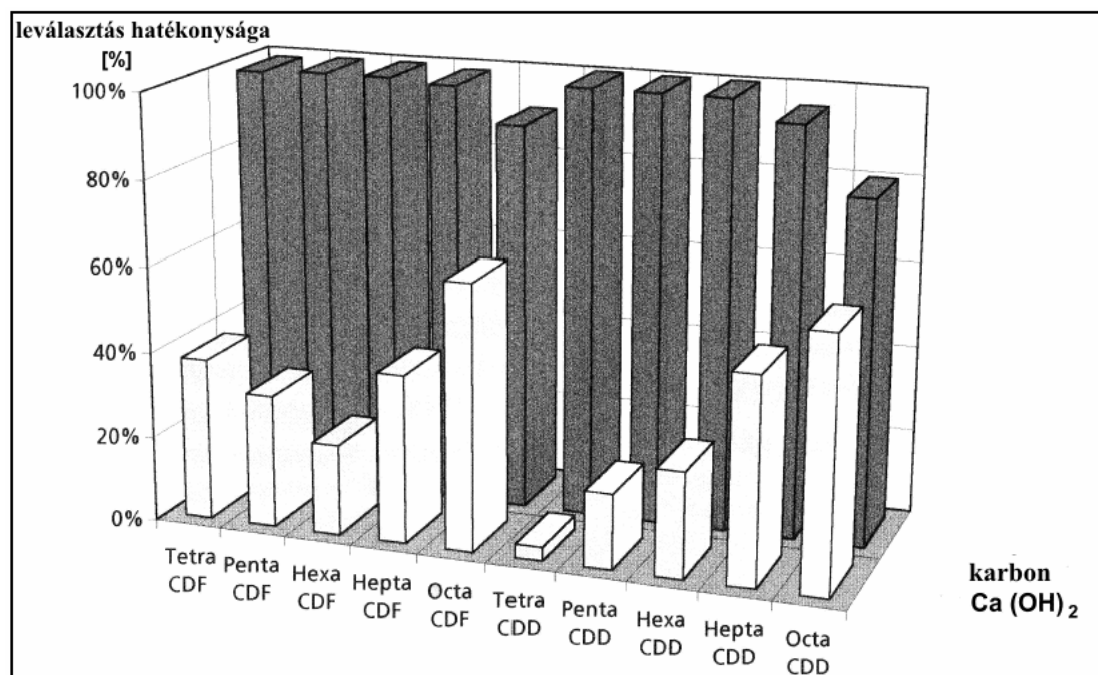
Egy 4 Mt/a kapacitású zsugorítóműre vonatkozóan, 1 millió Nm<sup>3</sup>/h füstgázáram és 8640 évi üzemóra mellett ez a következő költségeket eredményezné:

Beruházás: 5-7.5 millió Ecu<sub>1996</sub>;

Üzemköltség: 0.11-0.16 Ecu<sub>1996</sub>/t zsugorítmány.

A *zsákszűrő* a poremisszió jelentős csökkentésére alkalmas. Adalékokkal csökkentheti a PCDD/F, a HCl, HF és kisebb mértékben az SO<sub>2</sub> emissziókat is.

A 4.21. ábra a zsákszűrő PCDD/F leválasztásának hatékonyságát érzékelteti lignit-kokszipor adagolása esetén.



4.21.ábra: Zsákszűrő PCDD/F-leválasztási hatékonysága lignit-kokszipor adagolásakor

A beruházási költség 5-15 Ecu<sub>1996</sub> /(Nm<sup>3</sup>/h). Az üzemi költség 0.25-1.5 Ecu<sub>1996</sub> /1000 Nm<sup>3</sup> kezelt gáz.

A *ciklon* a szilárd részecskéket centrifugális erőhatással választja le. A zsugorítóművekben közbülső gáztisztításra használják annak érdekében, hogy megőrizzék a vezetékeket és a ventilátorokat a füstgázban levő durvább szilárd részecskék koptató hatásától. A multiciklon alkalmazásával (lényegében párhuzamosan kapcsolt kisméretű ciklonok) növelni lehet a leválasztás hatékonyságát.

A beruházás költsége 500-750 Ecu<sub>1996</sub> /(1000 Nm<sup>3</sup>/h). Az üzemi költség 0.007-0.015 Ecu<sub>1996</sub> /1000 Nm<sup>3</sup> kezelt gáz.

A *nedves finommosó*ban folyadék szolgál a szilárd részecskék leválasztására. Ilyen elven működő leválasztót használ fel a nagyhatékonyságú AIRFINE-rendszer. Ez az alábbiakból áll:

Elektrosztatikus leválasztó (ESP) a durva por leválasztására,

füstgázhűtő és nedvességtelítő rendszer,  
finommosó rendszer a finompor leválasztására és gáztisztításra és  
vízkezelő berendezés a melléktermékek szeparálására és visszanyerésére.

A Voest-Alpine tapasztalatait az alábbi táblázat foglalja össze:

Alkotó	Elért koncentráció [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Elért emissziós 2200 Nm <sup>3</sup> /t-nál [g/t zsugorítvány]	Leválasztás emissziós [%]	Mérőműszer tényező	hatásfoka
Szilárd részecske	48		110	95.2	VDI 2066 B 13
As	<0.001		<0.002	87	VDI 3868
Cd	0.003		0.0067	92	VDI 3868
Co	<0.001		<0.002	95	VDI 3868
Cr	0.002		0.0045	92	VDI 3868
Cu	0.02		0.044	96	VDI 3868
Hg	0.01		0.02	96	VDI 3868
Mn	0.01		0.02	93	VDI 3868
Ni	<0.001		<0.002	95	VDI 3868
Pb	0.05		0.1	96	VDI 3868
Sb	<0.001		<0.002	87	VDI 3868
Se	0.001		0.002	90	VDI 3868
Tl	0.002		0.0045	93	VDI 3868
V	<0.001		<0.002	87	VDI 3868
Zn	0.001		0.002	94	VDI 3868
HCl	26.5		60	96	VDI 3480 B11
HF	0.6		1.3	95	VDI 2470 B11
SO <sub>2</sub>	370		820	10	Imfravörös
VOC(FID-mérés)	11		25	50-60	UBA ajánlás
PAH(EPA 16)	50µg/Nm <sup>3</sup>		110 mg/t	n/a	EPA-módszer
PCDD/F	0.4 ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup>		1.0 µg I-TEQ/t	94	VDI 3499 B11

n/a: nem áll rendelkezésre

4.10. táblázat: Az AIRFINE-rendszerrel a Voest-Alpine Stahl AG, A-Linz-ben elért emissziós koncentrációk és emissziós tényezők



A linzi beruházás értéke 39.2 M Ecu<sub>1996</sub> volt. Az üzemi költség energiaköltségeken kívül 280000 Ecu<sub>1996</sub> /a.

*A nedves kéntelenítés során* a lehűtött füstgázokat kalciumot vagy magnéziumot tartalmazó oldat-permettel kezelik egy erre szolgáló toronyban. Az SO<sub>2</sub>-t gipsz vagy magnéziumsulfát formájában kötik meg és a toronyból iszap alakjában távolítják el.

A beruházás 50-80 Ecu<sub>1996</sub> / (Nm<sup>3</sup>)-be kerül. Az üzemi költség 0.5-1.1 Ecu<sub>1996</sub> / leválasztott kg SO<sub>2</sub>.

*Az aktív karbon regeneráló eljárás (RAC)* az SO<sub>2</sub> aktív karbonos adszorpcióján alapul. Az aktív kARBONT a művelet után regenerálják. A melléktermék H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. A regenerálás vízzel vagy termikusan történhet.

A Voest Alpine RAC-berebdeezése 73 M Ecu<sub>1997</sub>-be került. Az üzemi költség 1991-ben 0.75 Ecu<sub>1996</sub> volt, míg a karbantartás 0.17 Ecu<sub>1996</sub>-ba került. Megjegyzendő, hogy ezek az adatok olyan RAC-berendezésre vonatkoznak, amely az SO<sub>2</sub> és az NO<sub>x</sub> együttes leválasztását valósította meg.

*A szelektív katalitikus redukció (SCR)* során a füstgáz NO<sub>x</sub> komponensét katalitikusan redukálják ammóniával (NH<sub>3</sub>) vagy karbamiddal N<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>O képződése mellett. Katalizátorként gyakran használnak vanádium-pentoxidot (V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) vagy volfrámoxidot (WO<sub>3</sub>) titánoxid (TiO<sub>2</sub>) hordozón. Egyéb lehetséges katalizátor vasoxid vagy platina. Az optimális kezelési hőmérséklet-tartomány 300-400°C.

A beruházás költsége: 25-45 Ecu<sub>1996</sub> / (Nm<sup>3</sup>/h). Az üzemi költség 0.7-0.9 Ecu<sub>1996</sub>/ 1000 Nm<sup>3</sup> kezelt füstgáz.

Ma Európában nem működik ilyen típusú NO<sub>x</sub>-mentesítő.

#### 4.4 Következtetések

A zsugorítóművekre BAT-ként a következő technikákat vagy azok kombinációját vették figyelembe:

1. Füstgázportalanítás az alábbiak alkalmazásával:
  - továbbfejlesztett elektrosztatikus leválasztás (ESP) (mozgóelektrodos ESP, pulzáló ESP-rendszer, nagyfeszültséggel működő ESP) vagy
  - elektrosztatikus leválasztás plusz zsákszűrő vagy
  - előportalanítás (pl. ESP-vel vagy ciklonokkal) plusz nagynyomású nedves mosórendszer.
  - E módszereknek alkalmazásával <50 mg/Nm<sup>3</sup> emisszió-koncentráció érhető el üzemszerűen. Zsákszűrő felhasználásával 10-20 mg/Nm<sup>3</sup> emissziót realizáltak.
2. Füstgázrecirkuláció abban az esetben, ha a zsugorítvány minőségét és a termelékenységet nem befolyásolja jelentősen alkalmazása:
  - a füstgáz recirkuláltatása a zsugorítószalag teljes felületéről vagy
  - szakaszos füstgáz- recirkuláltatás.
3. A PCDD/F emissziók minimalizálása az alábbiak segítségével:

- 
- füstgáz-recirkuláció alkalmazása;
  - a zsugorítószalag füstgázainak kezelése
  - finom nedves mosórendszerekkel, amelyekkel  $<0.4$  ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> értéket értek el.
  - zsákszűrővel lignitkocsz-por hozzáadásával a PCDD/F-emissziók  $>98\%$ -os csökkentését érték el  $0.1-0.5$  ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> mellett állandó üzemi körülményekre.
4. Nehézfém-emissziók minimalizálása:
- finom nedves mosórendszerek használata a vízben oldható nehézfém-kloridok, főleg ólomklorid eltávolítása  $>90\%$ -os hatásfokkal vagy zsákszűrő alkalmazása égetett mész adagolásával;
  - az ESP utolsó szakaszából származó por kizárása a zsugorítószalagra adagolásból, biztos talajfeltöltéshez irányítása (vízzáró szigetelés, lúgozási maradvány összegyűjtése és kezelése).
5. A szilárd hulladék minimalizálása:
- az integrált mű vasat és kARBONT tartalmazó melléktermékeinek reciklálása az egyes melléktermékek olajtartalmának figyelembevételével ( $<0.1\%$ ).
  - szilárd hulladék képződésével kapcsolatban a következő BAT- lehetőségek jönnek tekintetbe prioritási sorrendben:
  - hulladékképződés minimalizálása
  - szelektív visszairányítás a zsugorító folyamatba
  - ha belső újrahasznosítás akadályokba ütközik, a külső újrahasznosítást kell elérni
  - ha minden újrafelhasználás akadályba ütközik, ellenőrzött lerakás a lehetséges megoldás a minimalizálás elvét tartva szem előtt.
6. A zsugorítandó keverék szénhidrogén-tartalmának csökkentése antracit tüzelőanyagmellőzésével:
- a reciklált melléktermékek/maradékok  $<0.1\%$ -os olajtartalma elérhető.
7. Az érzékelhető hő visszanyerése:
- a zsugorítvány hűtéséből származó füstgáz érzékelhető hőjét vissza lehet nyerni és bizonyos esetekben elképzelhető a szalagról származó füstgáz hőtartalmának visszanyerése is. A füstgázrecirkuláltatást is egy érzékelhető hő-visszanyerési módnak lehet tekinteni.
8. Az SO<sub>2</sub>-emissziók minimalizálása például:
- a kénbevitel csökkentésével (kis kén tartalmú kocszdara felhasználása és a kocszdara-felhasználás minimalizálása, kis kén tartalmú vasérc felhasználása); ezekkel az intézkedésekkel  $<500$  mg SO<sub>2</sub> /Nm<sup>3</sup> emissziós koncentráció érhető el.
  - a nedves füstgázkéntelenítéssel  $>98\%$ -os SO<sub>2</sub>- emissziócsökkentés realizálható és  $<100$  mg SO<sub>2</sub> /Nm<sup>3</sup> emisszió érhető el.
9. Az NO<sub>x</sub> emissziók minimalizálása például:
- füstgáz-recirkulációval
  - füstgáznitrogéntelenítéssel, aktivált karbon-regeneráló eljárás segítségével
  - szelektív katalitikus redukcióval.
-

10. A vízbe jutó emissziók (nem hűtővíz) csak akkor jönnek számításba, ha permetvizet használnak vagy nedves füstgázkezelést alkalmaznak. Ilyen esetekben a környezetbe kifolyó vizet nehézfém-leválasztással, semlegesítéssel és homokszűréssel kell kezelni. <20 mg C/l TOC-koncentrációkat és <0.1 mg/l nehézfém(Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn)-koncentrációkat értek el. Amennyiben friss vizet használnak, figyelemmel kell lenni a sótartalomra. A hűtővizet vissza lehet forgatni.

Az 1-10. pontokban felsorolt módszereket elvileg mind az új, mind a meglévő berendezésekhez alkalmazni lehet.

#### 4.5 A hazai helyzet

Hazánkban a Borsodi Ércelőkészítő Mű és a DUNAFERR Rt zsugorítóműve végzett vasérc-tömörítő tevékenységet. Az utóbbi években azonban a BÉM kényszerűen leállt erről a tevékenységéről és jogutódja a BÉM Borsodi Érc, Ásvány és Hulladékhasznosító Mű Rt. szénhidrogénnel és nehézfémekkel szennyezett, veszélyes - főleg vaskohászati - hulladékok zsugorítását tűzte ki célul annak érdekében, hogy ezen anyagok a vas- és acéliparba visszajárthatók és hasznosíthatók legyenek. Végleges környezetvédelmi engedélyt kiadtak ugyan, de ezt néhány közeli település önkormányzata megfellebbezte, így ez a nemzetgazdasági szempontból fontos tevékenység jelenleg szünetel.

A DUNAFERR Rt-ben két 50 m<sup>2</sup> szívófelületű zsugorítószalag működik. A zsugorítvány gyártására jellemző légszennyezési és hulladék/melléktermék-keletkezési adatokat a Magyar Vas-és Acélipari Egyesülésnek a Műszaki Szakigazgatói Tanács 2002. szeptember 17.-i ülésére előterjesztett, a tagvállalatok környezetvédelmi helyzetére és feladataira, valamint a vas-és acélipari melléktermékek hasznosítási lehetőségeire vonatkozó tanulmánya alapján az alábbi táblázat foglalja össze:

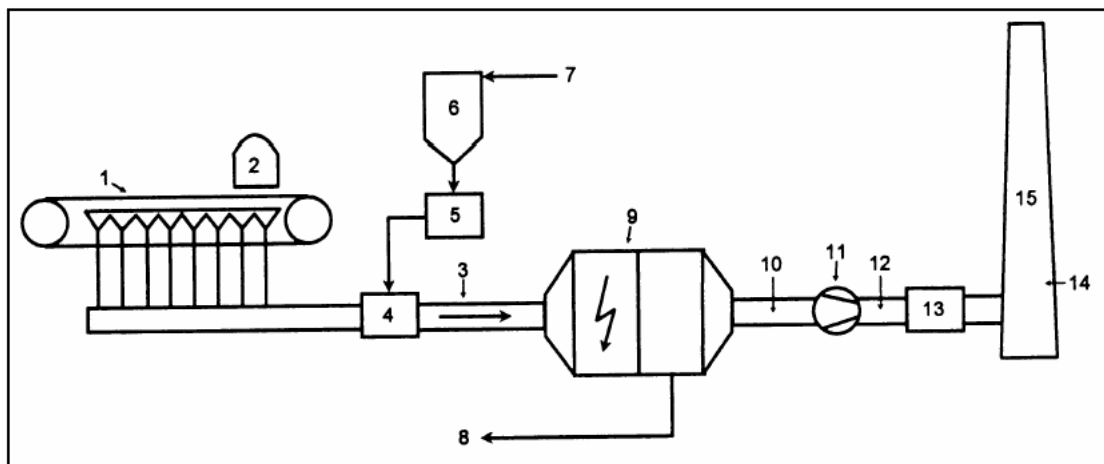
Megnevezés	Mérték- egység	EU-felmérés adatai	Magyar adatok 2001-ben
<b>Légszennyezés</b>			
Por	g/t foly.acél*	170-280	2090
Cr	g/t	0.005-0.05	n.a.
Cu	g/t	0.007-0.16	n.a.
Ni	g/t	0.002-0.04	n.a.
Pb	g/t	0.04-7	8
Zn	g/t	0.002-1.8	42
HCl	g/t	17-65	n.a.
HF	g/t	1.4-3.5	n.a.
NO <sub>x</sub>	g/t	340-710	361
SO <sub>2</sub>	g/t	900-1850	789
CO	kg/t	13-43	23.3
CO <sub>2</sub>	kg/t	205-240	n.a.
VOC	g/t	150	n.a.
PAH	mg/t	115-915	n.a.
PCDD/F	µg I-TEQ/t	5-6.5	n.a.
PCB	mg/t	1-13	n.a.
<b>Hulladékok/melléktermékek</b>			
Porok	kg/t foly.acél	0.9-15	22
Iszapok	kg/t foly.acél	0.3	n.a.
Szennyvíz	m <sup>3</sup> /t foly.acél	0.06	n.a.
<sup>5</sup> EU-ban működő zsugorítómű adatai alapján			
*1160 kg zsugorítvány/t nyersvas és 940 kg nyersvas/t folyékony acél feltételezésével			

4.A. táblázat: A hazai zsugorítványgyártás légszennyezési és hulladékképződési adatai 2001-ben, összehasonlítva az EU-adatokkal

#### 4.6 Kialakuló technikák és jövőbeni fejlesztések

Az új vasgyártó technikák a jövőben erősen csökkenthetik a zsugorítóművek iránti igényt. Ennek ellenére vannak új, kialakulóban levő módszerek. Ezek közül meg kell említeni a PCDD/F eltávolításának új technikáját. Zsugorítással foglalkozó német szakemberek a Sidmar-ral, Sollac-

kal, Thyssen-nel működtek együtt a VDEh -vel kooperálva. A Duisburgban felállított demonstrációs üzem elvét a 4.24.ábra mutatja be. A berendezés adszorpciós szakaszból, egy meglévő ESP-ből és ezt követő katalitikus oxidáló konverterből áll. A PCDD/F-et a lignitkokszipor adszorbeálja, majd ezt az ESP gázállapotában leválasztja, majd a zsugorító szalagra vezeti vissza. Külön is vizsgálták a két rendszernek - a lignitkokszipor-injekciónak és a katalitikus oxidálásnak - hatékonyságát. Nem feltétlenül szükséges mindkét rendszer együttes alkalmazása  $<0.1 \text{ ng I-TEQ/Nm}^3$  eléréséhez.

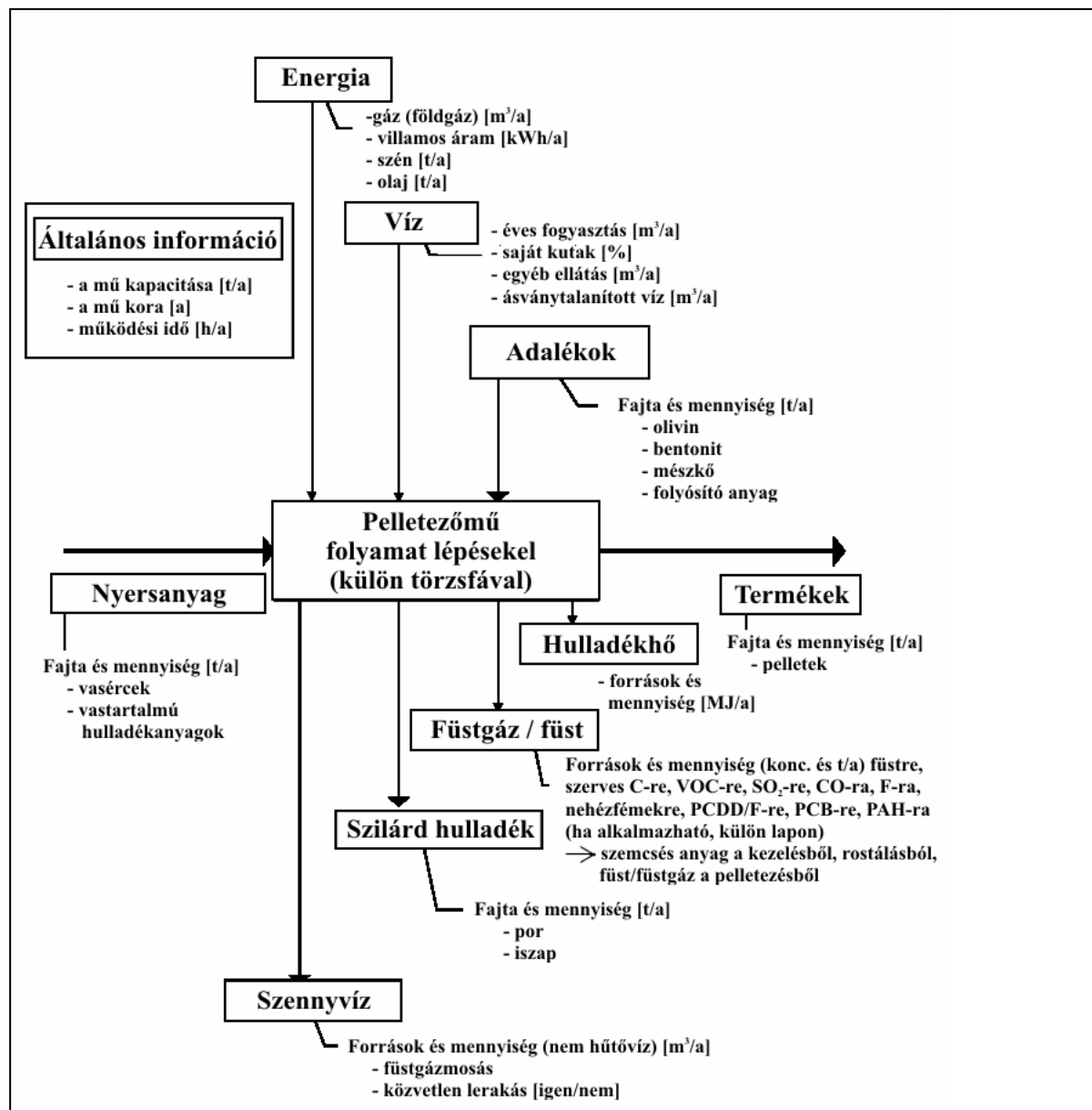


4.24.ábra: Füstgázkezelő rendszer elvi ábrázolása az adszorpciós fokozattal és a katalitikus átalakítóval - [Kersting, 1997; Philipp, 1988]

1 zsugorítószalag, 9 elektrosztatikus leválasztó, 2 begyűjtő kemence 10 porkoncentrációt és PCDD/F-t mérő állomás, 3 füstgázfővezeték a reaktorral, 11 ventilátor, 4 injektáló cső, 12 szabadba jutó gáz összetételét mérő állomás, 5 adagoló berendezés a szabályozóval, 13 katalitikus oxidáló átalakító, 6 adszorbenst adagoló tartály, 14 PCDD/F-mérő állomás, 7 töltőberendezés 15 kémény, 8 por-recikláló

## 5 PELLETEZŐ ÜZEMEK

Pelletező üzem anyagáramlását mutatja be az alábbi ábra:



5.5.ábra: Pelletezőmű tömegáramának áttekintése.

A vasérc pelletezése és zsugorítása egymást kiegészítő technológiák. Mindkettőnek vannak előnyei és hátrányai. Ezeket a nyersanyagok rendelkezésre állása és típusa nagymértékben befolyásolja. Gyakorlatilag csaknem mindig az acélmű közelében található a zsugorítóművet; ez lehetővé teszi a szilárd hulladékok reciklálását; kocsidara az acélművekben rendelkezésre álló tüzelőanyag; a zsugorítvány a szállítás és átrakás során hajlamos a szétesésre. A pelletet a nyersanyagokból - <0.05 mm finom ércből és adalékokból -9-16 mm átmérőjű gömbökké alakítják, majd kiégetik. A műveletet főleg a bányász, vagy annak kikötője mellett végzik el.

Az EU öt üzemében 1996-ban 15.1 Mt pelletet állítottak elő. 1995-ben az EU 15-ben kb. 35 Mt volt az összes pelletfogyasztás, míg a zsugorítmány-felhasználás ennek háromszorosát tette ki.

A pelletezés a nyersanyagok őrléséből, szárításából, gömbösítéséből és égetéséből áll, melyet rostálás és szállítás követ. Az égetés vándorrostélyos vagy forgódobkemencés berendezésben történhet.

Hazánkban nem működik vasércet pelletező üzem és a jövőben sem várható ilyen jellegű mű felállítása vas-és acélgyártásunkban. Ezért a technológiával kapcsolatos további információk ismertetésétől eltekintünk.

## 6 KOKSZOLÓMŰVEK

A szén pirolízise során a szenet oxigéntől elzárva hevítik gázok, folyékony termékek és szilárd maradék - koks - előállítására céljából. A szén nagy hőmérsékletű pirolízisét karbonizációnak hívják. Az 1150 - 1350°C hőmérsékletű füstgázokkal 14 - 24 órán át közvetve hevítik fel a szenet 1000 - 1100°C-ra. A nyert termék kohó- és öntödei koks. A koks az elsődleges redukálószer a nagyolvasztóban és nem lehet teljesen más tüzelőanyagokkal, pl. szénrel helyettesíteni.

### 6.1 Alkalmazott eljárások és technikák

A modern kokszoló eljárás alapjait az 1940-es években fejlesztették ki. A kemencék - kamrák - kb. 12 m hosszúak, 4 m magasak és 0.5 m szélesek voltak, mindkét végükön ajtóval ellátva. Az égéshez szükséges levegőt meleg füstgázzal hevítették fel. Azóta az eljárást gépesítették és jelentősen módosították a kokszolókat. A jelenleg működő kokszolóblokkok 60 kamrából állnak, egy kamra 14 m hosszú és 6 m magas. A szélesség a jó hőátvitel érdekében 0.3-0.6 m maradt. Egy kamra maximális kapacitása 30 t szén. 1992-ben már olyan kokszolót is üzembe állítottak, amelynek kamra-hosszmérete 18 m, magassága 7.6 m és szélessége 0.61 m, befogadóképessége pedig 65 t szén.

Az elmúlt években főleg a kokszolás során keletkező emissziók csökkentése és a munkakörülmények javítása volt a fő cél.

A kokszgyártás folyamata az alábbi lépésekből áll:

a szén kezelése,

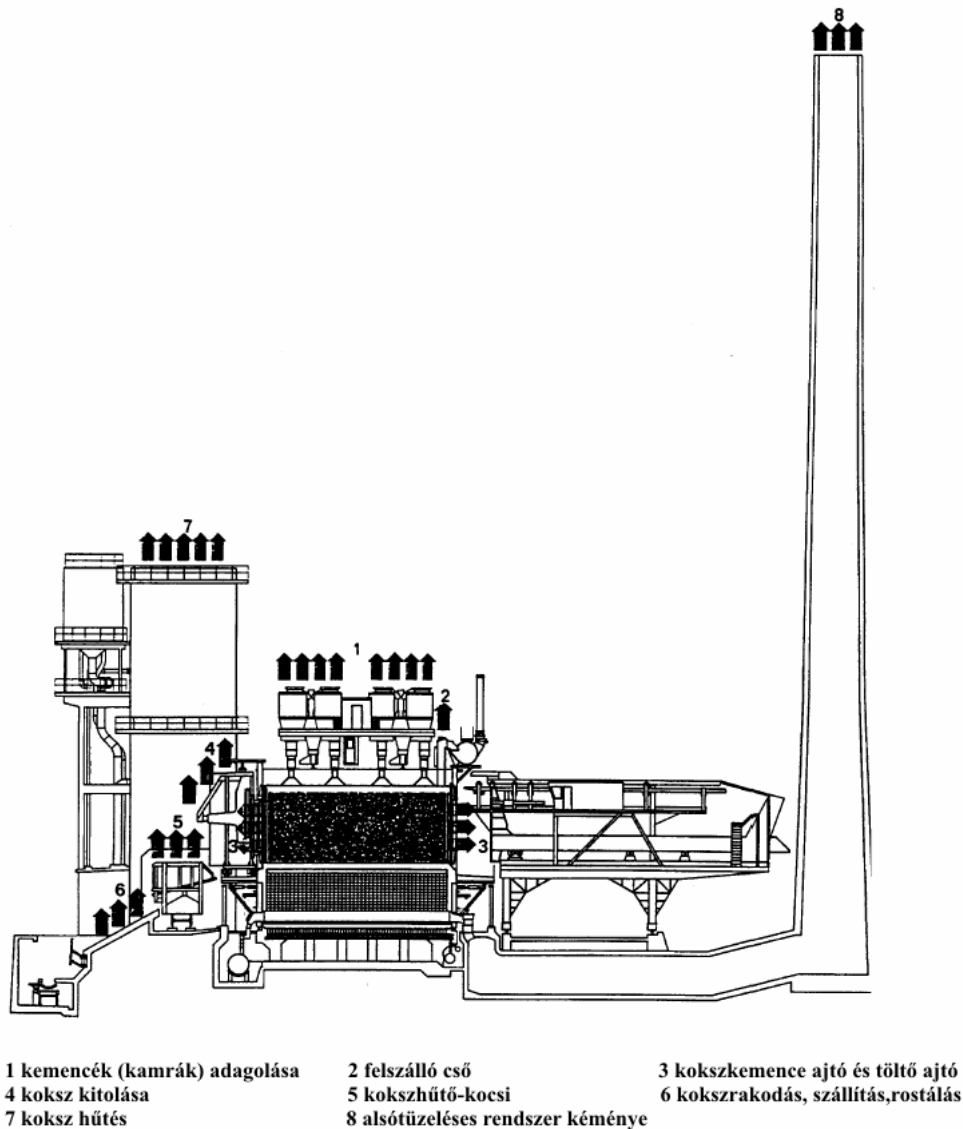
blokk-műveletek (szénadagolás, hevítés/tüzelés, kokszolás, kokszkitolás, kokszhűtés),

kokszkezelés és előkészítés,

a kokszkemencegáz (COG) összegyűjtése és kezelése a melléktermékek kinyerése mellett.

A kokszolóblokkban folyó műveletek nagymértékben befolyásolják az emissziók keletkezését. Az egyes emisszióforrásokat a 6.3. ábra mutatja be.





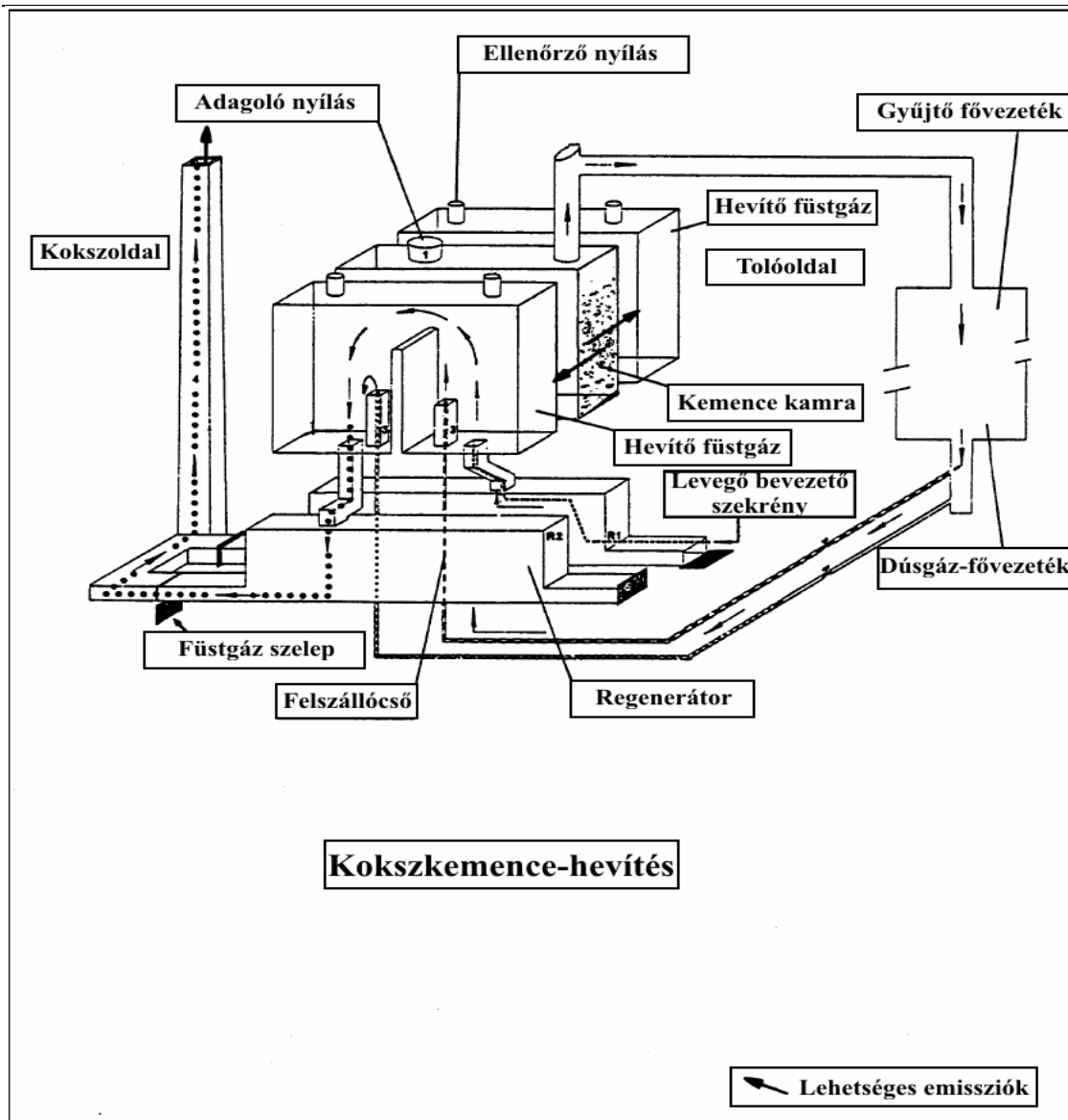
6.3.ábra A kokszkemence vázlatos rajza a fő emisszióforrások megjelölésével

A koksizókemence (kamra) hevítő rendszere a 6.5.ábrán látható.

Ha a kamrák falai repedések következtében nem teljesen zártak, a kokszkemencegáz a füstgázba kerül és a kéménybe jutva nem hasznosul. A 6.5. ábra egyfokozatú égetést mutat, a legkorszerűbb művekben azonban már többfokozatú égetés van.

A *koksizálás* során a karbonizáló folyamat rögtön az adagolás után megindul. A keletkező gáz és nedvesség a beadagolt szén kb. 8 - 11%-át teszi ki. Ezt a nyers kokszkemencegázt (COG) a felszálló csövön át szívják el és juttatják a gyújtó fővezetékbe. A gáz nagy fűtőértéke révén tisztítás után tüzelőanyagként használható (pl. a kamra fűtésére).

1000 kg szénből 750 - 800 kg kokszt és mintegy 325 m<sup>3</sup>, avagy 187 kg COG-t nyernek. A kokszkiszhozatal és a COG-termelés persze nagymértékben függ a szén összetételétől és a koksizálás időtartamától.



6.5.ábra: A koksizókamra hevítő rendszerének vázlatos rajza az emissziós pontok bemutatásával (nyilakkal jelölve)

A teljesen karbonizált kokszot *kitoló kocsi*val juttatják a konténerbe. Az atmoszféra oxigéntartalma miatt rögtön égni kezd a koksz. Ennek megakadályozására a hűtőtoronyhoz szállítja a kitoló kocsi a kokszot, ahol közvetlenül nagymennyiségű vízzel *oltják - lehűtik*. A víz el nem gőzölő részét összegyűjthetik és a következő koksza dag hűtésére használhatják fel a szennyvíz-emisszió csökkentése érdekében.

A lehűtés után halmokba rakják, majd szállítószalagon továbbítják a *töréshez és rostáláshoz*. A kisebb szemnagyságú (<20 mm) frakciót általában a zsugorítóba irányítják, a nagyobb frakciót (20 – 70 mm) a nagyolvasztóban használják fel.

A nyers kokszkemencegáz (COG) a benne levő hidrogén, metán, szénmonoxid és szénhidrogének miatt nagy fűtőértékű. Emellett olyan értékesíthető termékeket is tartalmaz, mint a kátrány, könnyűolajok, kén és ammónia. A 6.1.táblázat a COG összetételét mutatja be.

Nyersgáz- Kihozatal [m <sup>3</sup> h/t [kg/Nm <sup>3</sup> ]	Nyersgáz- sűrűség	H <sub>2</sub> térf.%	CH <sub>4</sub> térf.%	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> térf.%	CO térf.%	H <sub>2</sub> S térf.%	BTX g/Nm <sup>3</sup> Nm <sup>3</sup>	PAH mg/ Nm <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> g/	CO <sub>2</sub> t.%	
szén]	12-25	0.53-0.62	39-65	32-42	3.0-8.5	4.0-6.5	3-4	23-30	n/m	6-8	2-3
Megjegyzés: BTX: Benzol-Toluol-Xilol n/m: nincs megadva											

6.1.táblázat: Nyers kokszkemencegáz összetétele - [InfoMil, 1997] nyomán

A nyersgázban levő kátrány és naftalin feltapadhat a vezetékre és onnan kell eltávolítani. A kátrányt 35 - 45 kg/t koksz mennyiségben lehet visszanyerni.

A kéntartalom és az ammónia korróziót okozhat a vezetékben és a berendezésben, a kén SO<sub>2</sub>-emissziót okozhat, ha a kokszkemencegázt tüzelőanyagként használják. A koksz egy tonnájára kb. 3 kg ammóniát és 2.5 kg H<sub>2</sub>S-t nyernek. Néhány esetben könnyűolajat és BTX-et is kinyernek értékes melléktermékként. Max. 15 kg könnyűolajat lehet visszanyerni egy tonna kokszra.

A nyersgáz a felszállócsőbe kb. 800°C-on lép be. Az úgynevezett libanyakon közvetlenül *hűtik* folyékony ammóniával kb. 80°C-ra. A mosóberendezések előtt elektrosztatikus kátrányleválasztó működik.

A végső hűtés közvetett vagy közvetlen lehet. Az utóbbi esetben a hűtővíz a COG-ból származó szennyezők abszorbeálására szolgál. Zárt hűtőrendszert alkalmaznak az emissziók kiküszöbölésére.

A víz és a nagy-forráspontú szénhidrogének a kokszkemencegáz hűtése során kondenzálódnak. A csövekből és az elektrosztatikus kátrányleválasztóból származó kondenzátumot a kátrány/víz szeparátorba vezetik, ahol a kátrányt visszanyerik.

A kokszkemencegáz kéntelenítése kétféleképpen történhet:

- nedves oxidálással elemi kén (S) előállítására,
- H<sub>2</sub>S abszorbeálásával és kénsav vagy elemi kén előállításával.

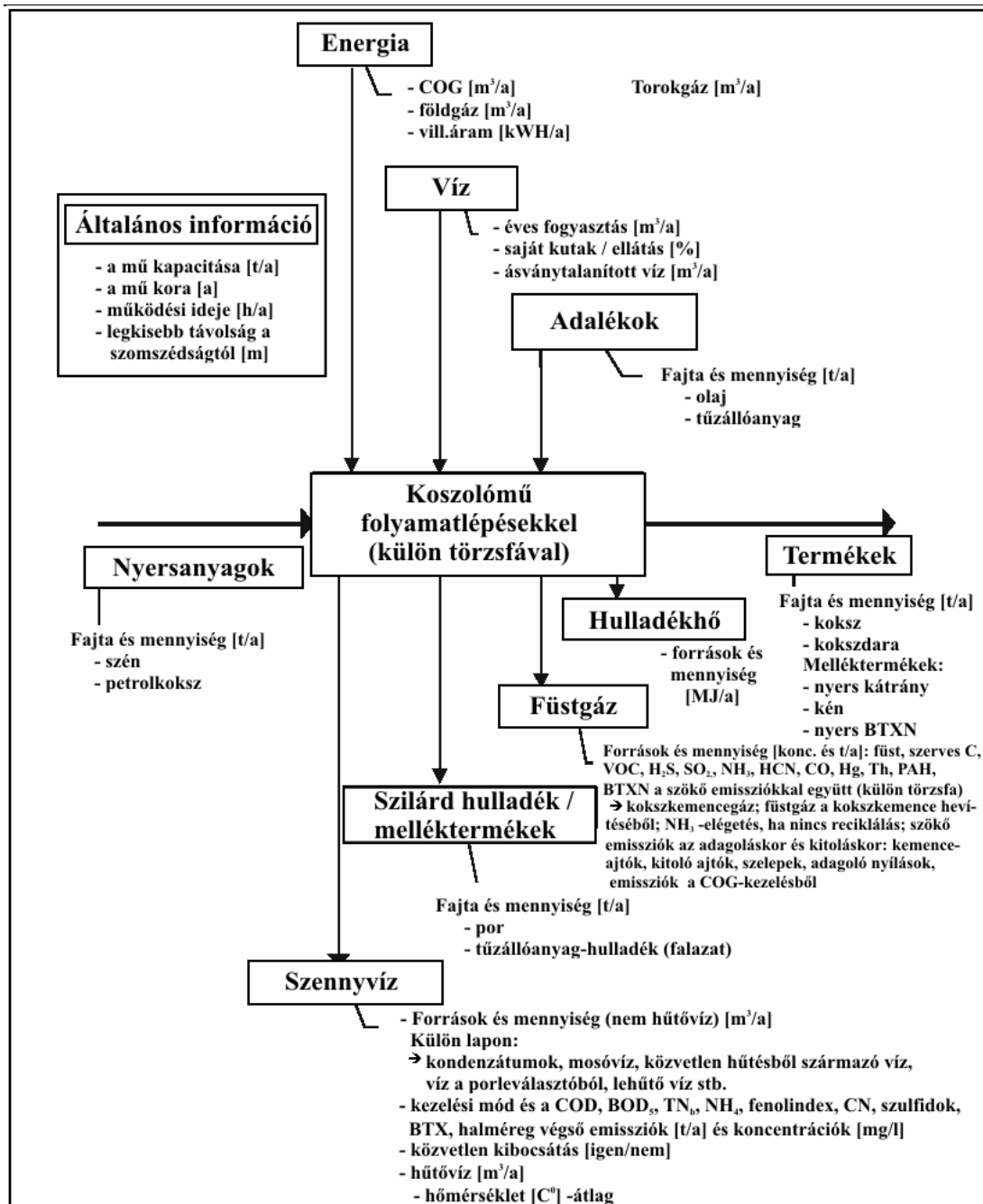
Az *ammónia* leválasztása a kokszkemencegázból három módszerrel történhet:

- NH<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>S-mosó körfolyammal,
- ammóniumszulfát ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) közvetlen kinyerésével és
- ammónia (NH<sub>3</sub>) közvetlen kinyerésével.

A könnyűolaj visszanyerésére három módszert dolgoztak ki:

- lefagyasztás -70°C-ra és összenyomás 10 bar nyomással,





6.10.ábra: A kokszolómű tömegáramának áttekintése

Ezt követően fajlagos beviteli tényezőket és fajlagos emissziós tényezőket lehet kiszámítani. Ilyen tényezőket tartalmaz a 6.2.táblázat.

A levegőbe jutó emissziókkal kapcsolatban a karbantartás fontosságára és a megfelelő emissziócsökkentő technika megválasztására kell felhívni a figyelmet.

A kokszolóból kikerülő szennyvíz biológiai kezelésének megtervezéséhez szükséges paramétereit a 6.4.táblázat foglalja össze.

Bevitel Kihozatal

**6.2.1.1.1 Nyersanyagok**

**Termékek**

Szén(száraz) kg/t kokszt 1250-1350 kokszt(száraz) kg/t 1000.0  
 COG\*<sup>3</sup> MJ/t LS 2500-3200  
 gőz\*<sup>3</sup> MJ/t LS 3-90/500\*<sup>4</sup>

**6.2.1.1.2 Energia**

BFGáz+COG MJ/t kokszt 3200-3900 *Gázemissziók*

Vill.áram MJ/t kokszt 20-170\*<sup>1</sup>

Por	g/t LS* <sup>3</sup>	17-75* <sup>1</sup>
SO <sub>x</sub>	g/t LS	27-950* <sup>5</sup>
NO <sub>x</sub>	g/t LS	230-600* <sup>1</sup>
NH <sub>3</sub>	g/t LS	0.8-3.4
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	g/t LS	0.7* <sup>6</sup>

Gőz MJ/t kokszt 60-300\*<sup>2</sup>

HCN	g/t LS	0.02-0-4
H <sub>2</sub> S	g/t LS	4-20* <sup>1</sup>
CO	g/t LS	130-1500* <sup>1</sup>

Sűr.levegő. Nm<sup>3</sup>/t kokszt 7-15

CO <sub>2</sub>	kg/t LS	175-200
CH <sub>4</sub>	g/t LS	27* <sup>7</sup>
VOC* <sup>8</sup>	g/t LS	4-8

Folyamatvíz m<sup>3</sup>/t kokszt 0.8-10

Benzol g/t LS 0.3-15\*<sup>9</sup>(nem hűtővíz)

PAH* <sup>10</sup>	mg/t LS	170-500* <sup>11</sup>
Maradékok/melléktermékek		
Benzol	kg/t kokszt	8-15
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/t kokszt	4-9
Kátrány	kg/t kokszt	25-46
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kg/t kokszt	1.7-3.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ként* <sup>12</sup>		
Kén* <sup>13</sup>	kg/t kokszt	1.5-2.3
Szennyvíz	m <sup>3</sup> /t kokszt	0.3-0.4

Megjegyzés:LS=foly.acél(nyersacél), VOC=illó szerves karbon, PAH=policiklikus aromás szénhidrogének

- \*1 magas értékek az öreg üzemekre(20 évnél öregebbek)
- \*2 a 20 évnél öregebb üzemeknek 1200 MJ/t kokszt gőzfelhasználása lehet
- \*3 alkalmazott átszámítási tényező(súlyozott átlag az összes európai kohókra és konverteres acélművekre): 358 kg kokszt/nyersvas; 940 kg nyersvas/t LS
- \*4 nagy értékek a kokszt száraz oltásánál (hővisszanyerés gőz alakjában); 90 MJ/t LS érték két műre, amelyek 14-15 éve működnek; 500 MJ/t LS egy hét éve működő műre
- \*5 nagy érték nem kéntelenített COG-ra; a fajlagos SO<sub>2</sub> emissziók 27-300 g/t LS a kéntelenítés esetében (ebben a tartományban a nagyobb érték elégtelen kéntelenítésre utal)
- \*6 SO<sub>2</sub>-abszorpció és H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> végtermék esetére
- \*7 csak egy műre van adat
- \*8 VOC metán nélkül
- \*9 a kis érték egy korszerű, kb 5 éves műre
- \*10 PAH EPA 16-ként(a következő 16PAH összege):(Summa (FLU+PYR+TRI+CPP +BaA+CHR+BNT+BeP+BbF+BkF+BaP+DbahaA+BghiP+INP+ANT+COR))
- \*11 csak két mű adata áll rendelkezésre
- \*12 az SO<sub>2</sub> ammóniával való abszorpciójának esetére
- \*13 SO<sub>2</sub>-abszorpció és elemi kénkinyerés esetére

6.2.táblázat: Négy különböző EU tagállam tizenegy koksztolójából származó beviteli/kihozatali adatok

Paraméter	Koncentráció [mg/l]		Emissziós tényező [g/t kokszt]
	Közepes érték	Standard eltérés	
Kémiai oxigén-igény (COD)	2250-4450	310-590	430-1700
Ammónia (NH <sub>3</sub> /NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	25 – 85	15 – 105	5 - 30

6.4.táblázat: Belgium, Németország, Franciaország és Hollandia négy koksztolóművéből származó szennyvíz jellemzői - [Löhr, 1996]

A 6.4.táblázatban összefoglalt paraméterek az ammónia leválasztása után, de a szennyvíz hígítása és kezelése (ha van ilyen) előtti állapotra vonatkoznak.

### 6.3 A BAT meghatározásakor figyelembe veendő technikák

A koksztoló folyamatba integrált és bevált technikák az alábbiak:

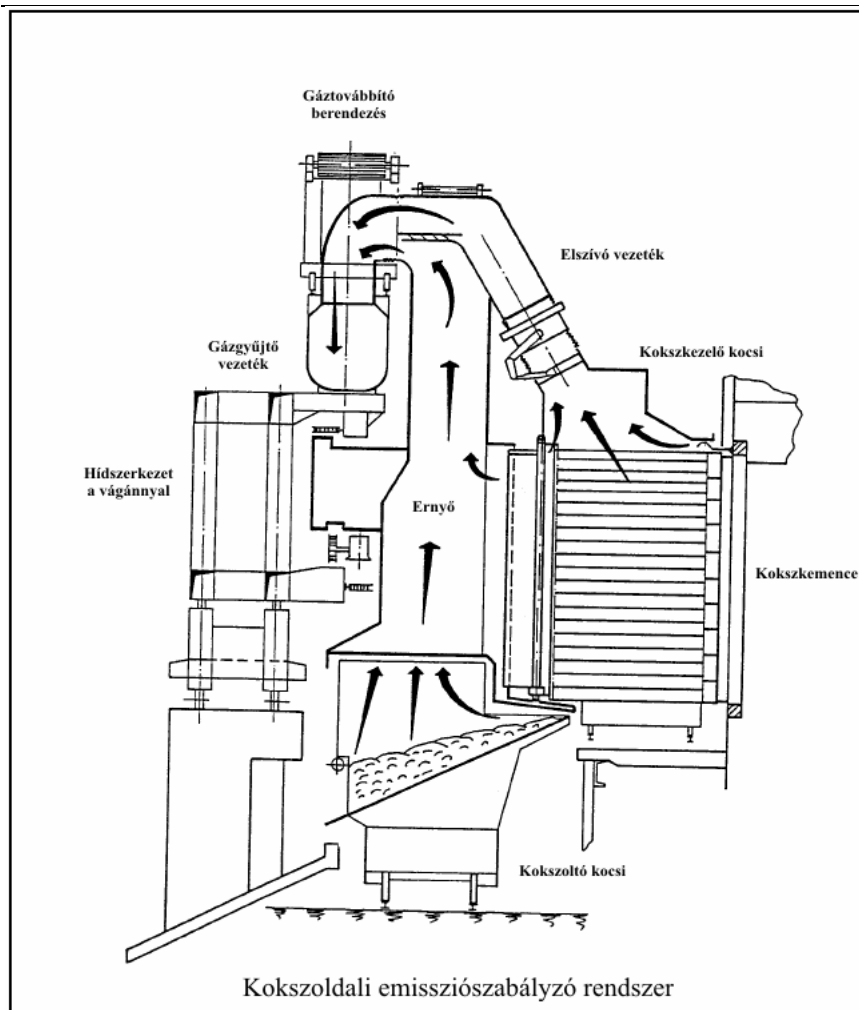
- 
- Zökkenőmentes, zavartalan üzemeltetés
  - A kamrák gondos karbantartása
  - A kemenceajtók és tömítések javítása
  - A kemenceajtók és tömítések tisztítása
  - A gáz szabad áramlásának fenntartása a kemencében
  - Emissziócsökkentés a kokszoló tüzelésében
  - A koksz száraz oltása (COG)
  - Nagyobb kokszológamrák
  - Visszanyerés nélküli kokszolás

A technológiai lánc végén alkalmazott eljárások:

- A kamra berakásakor keletkező emissziók minimalizálása
- A felszálló csövek és adagolónyílások szigetelése
- A kokszológamra és hevítőkamra közti hézag minimalizálása
- A kokszkitolás pormentesítése
- Emissziókat minimalizáló nedves hűtés
- A kamrák fűtéséből származó füstgáz  $\text{NO}_x$ -telenítése
- A kokszkemencegáz kéntelenítése
- A kátrány (és PAH) eltávolítása a szén víztartalmából
- Ammóniaelválasztás
- A gázkezelő üzem gáztömör működtetése
- Szennyvízkezelő üzem

A kokszkitoló művelet pormentes elvégzését biztosító rendszerre mutat be egy példát a 6.13.ábra.





6.13.ábra: Példa a kokszitolásból származó por leválasztására

## 6.4 Következtetések

### 1. Általános szempontok:

- A kamrák, ajtók, ajtókeret-tömítések, fesszállócsövek, adagolónyílások stb. gondos karbantartása (speciálisan kiképzett karbantartó személyzettel rendszeres program alapján végzett munkával);
- Ajtók, ajtókeret-tömítések adagolónyílások, felszállócsövek tisztítása;
- A szabad gázáramlás fenntartása a kokszolóban.

### 2. Adagolás:

- Adagolás adagoló kocsival.
- 'Füstmentes' vagy folyamatos adagolás ajánlott kettős felszálló csövekkel vagy áthidaló csövekkel, mivel minden gázt és szilárd részecskét a kokszkemencegáz kezelésének részeként kezelnek. Ha azonban elszívják a gázokat és a kokszoló blokkon kívül kezelik, a külön telepített berendezésben az elszívást követően elégetés és zsákszűrős kezelés történik. Így elérhető a szilárd részecske-emissziókra a  $<5$  g/t koksz -szint.

---

### 3. Kokszolás:

A következő intézkedések kombinációja:

- Zökkenőmentes, zavartalan kokszkemence-üzemeltetés, a nagy hőmérséklet-ingadozások elkerülésével.
- Rugós terhelésű, rugalmas szigetelésű ajtók vagy késélű ajtók alkalmazása esetén elérhető
- <5% látható emisszió az új üzem minden ajtójából és
- <10% látható emisszió meglévő üzem minden ajtójából.
- Vízárás felszálló csövek esetében <1% látható emisszió érhető el az összes csövekre.
- Agyag szuszpenzióval tömített adagoló nyílások <1% látható emissziót biztosítanak.
- Tömítéssel ellátott, kiegyensúlyozott ajtókkal <5% látható emisszió érhető el.

### 4. Tüzelés:

- Kéntelenített COG alkalmazása
- A kemencekamra és a hevítőkamra közti szivárgás megelőzése szabályos kokszolóblokk-üzemeltetéssel és
- a kokszolókamra és a hevítő kamra közti tömítetlenség kijavítása és
- az új blokkok építésénél olyan alacsony NO<sub>x</sub>-et biztosító technika megvalósítása, mint a szakaszos elégetés (új művekben 450 - 700 g/t kokszt és 500 - 770 mg/Nm<sup>3</sup> nagyságrendű emissziók érhetőek el).

A nagy költségek miatt a nitrogéntelenítést (pl. SCR) nem alkalmazzák kivéve az olyan új üzemeket, ahol másképpen nem lehet eleget tenni a környezetvédelmi előírásoknak.

### 5. Kitolás:

- A kokszkitoló-géppel egybeépített ernyővel realizált elszívás és zsákszűrős gázkezelés, valamint hűtőkocsi alkalmazása esetén 5 g szilárd szemcse/t kokszt -szint érhető el (kéményemisszió).

### 6. Oltás(hűtés):

- Az emissziót minimalizáló nedves oltás 50 g szilárd szemcse/t kokszt-ot biztosít (VDI módszerrel meghatározva). Jelentős szerves terhelésű ipari víz használatát el kell kerülni az oltáshoz.
- Száraz kokszt-oltás (CDQ) az érzékelhető hő visszanyerésével és az adagoláskor, kezeléskor és rostáláskor keletkező por zsákos szűrésével. A jelenlegi energiaárakra tekintettel az EU-ban a "beruházási/üzemi költség - környezeti előny"- megfontolás erősen korlátozza a CDQ alkalmazhatóságát. Ezen túlmenően a visszanyert energia felhasználása is szükséges.

### 7. Kokszkemence-gáz kéntelenítése:

Kéntelenítés abszorpciós rendszerekkel (500-1000 mg H<sub>2</sub>S/Nm<sup>3</sup>) vagy

oxidáló kéntelenítés (<500 mg H<sub>2</sub>S/Nm<sup>3</sup>), amennyiben nagymértékben csökkentik a mérgező vegyületek káros környezet-hatását.

### 8. A gázkezelő üzem gáztömör működése:

- A csőkarimák számának minimalizálása a hegesztett csőkötések alkalmazásával;

- Gáztömör szivattyúk felhasználása (pl. mágneses szivattyúk);
  - A tároló tartályok nyomószelepeiből származó emissziók csökkentése a szelepkivezetésnek a kokszkemencegáz-főgyújtóvezetékével való összekapcsolásával (vagy a gázok összegyűjtésével és azt követő elégetésével).
9. Szennyvíz előkezelése:
- Hatékony ammónia leválasztás alkáliák alkalmazásával. 20 mg/l NH<sub>3</sub>-koncentráció érhető el.
  - Kátrányleválasztás.
10. Szennyvízkezelés:

A nitrogénezést/nitrogéntelenítést magába foglaló biológiai szennyvízkezeléssel az alábbiak érhetők el:

COD eltávolítás:	>90%
szulfid:	<0.1 mg/l
PAH(6 Borneff):	<0.05 mg/l
CN <sup>-</sup> :	<0.1 mg/l
fenolok:	<0.5 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> és NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> összesen:	<30 mg/l
szuszpendált szilárd anyagok:	<40 mg/l

Ezek a koncentrációk 0.4 m<sup>3</sup>/t koksz fajlagos szennyvízmennyiségre vonatkoznak.

Elvileg az 1 - 10 pontokban felsorolt technikák mind az új, mind a meglévő üzemekre alkalmazhatók, kivéve az alacsony NO<sub>x</sub>-eljárásokat (csak új üzemekre).

## 6.5 A hazai helyzet

Hazánkban Dunaújvárosban létesült integrált acélmű szerves tagjaként kokszolómű. Az üzem három blokkból áll és termelésével a DUNAFERR Rt nagyolvasztóinak kokszigényét elégíti ki.

A kokszolómű légszennyezési adatait a 2001 évre vonatkozóan a Magyar Vas-és Acélipari Egyesülésnek a Műszaki Szakigazgatói Tanács 2002. szeptember 17.-i ülésére kidolgozott és a tagvállalatok környezetvédelmi helyzetéről és feladatairól, valamint a vas-és acélipari melléktermékek hasznosítási lehetőségeiről szóló előterjesztése alapján a 6.A. táblázat foglalja össze:

Megnevezés	Mérték-	EU-felmérés	Magyar adatok 2001-ben	egység adatai
Légszennyezés			g/t foly.acél*	
Por	g/t		17-75	105
NO <sub>x</sub>	g/t		230-600	258
SO <sub>2</sub>	g/t		27-950	371
CO	g/t		130-1500**	900
CO <sub>2</sub>	kg/t		175-200	n.a.
H <sub>2</sub> S	g/t		4-20	n.a.
NH <sub>3</sub>	g/t		0.8-3.4	n.a.
VOC	g/t		4-8	n.a.
PAH	mg/t		170-500	n.a.
Hulladékok/melléktermékek		kg/t kocsz		
Benzol	kg/t		8-15	n.a.
Kénsav	kg/t		4-9	n.a.
Kátrány	kg/t		25-46	3
Kén	kg/t		1.5-2.3	n.a.
Szennyvíz	m <sup>3</sup> /t		0.3-0.4	n.a.

11 EU-ban működő kocszolómű alapján

\* 358 kg kocsz/t nyersvas és 940 kg nyersvas/t acél felhasználásával

\*\* régi kocszolók esetén

6.A.táblázat: A hazai kocszgyártás légszennyezés- és hulladék/melléktermék-adatai 2001-ben, az EU-felmérés adataival összehasonlítva

A légszennyezés csökkentése céljából a DUNAFERR DBK Kocszoló Kft a III. blokkra jelenleg hajt végre fejlesztéseket. A teljes műre vonatkozó fejlesztési terv-alternatívák is készen állnak. Ezek magvalósulása esetén teljesülhetnek az EU-előírások.

## 6.6 Kialakuló technikák és jövőbeni fejlesztések

A nagyolvasztók kocszigényének csökkentésében és ezzel a tüzelőanyagok költségeinek mérséklésében az olaj, majd a szénpor játszott lényeges szerepet. Jelenleg kb. 180 kg/t nyersvas-szinten áll a szénpor befűvés, ami 300 kg/t nyersvas fajlagos kocszfogyasztást tesz lehetővé. A szénpor nagyolvasztóba fűvésének elméleti maximuma megközelítően 270 kg/t nyersvas, amely mellett 220 kg/t nyersvas kocszfogyasztás lehetséges.

Eltekintve a költségmegtakarítástól, pozitív környezethatása is van a szénporbefűvésnek, mivel kevesebb kocsz fogy és így kisebb a kocszolókból származó emisszió. 180 kg/t nyersvas szintű szénporbefűvés - amit már számos helyen elértek - 30%-kal kevesebb kocszfelhasználást tesz lehetővé.

Azonban a meglévő kokszolóművek emisszió-csökkentésével kapcsolatosan is vannak folyamatban fejlesztések. Ezek közül említést érdemel a korábban Jumbo Coking Reactor-nak(JCR) nevezett EgyKamrás Rendszer (SCS). Ez 450 - 850 mm szélességű, nagytérfogatú kamrával dolgozik. Előmelegített szenet használ fel. A kokszolható szenek széles spektrumát fel tudja dolgozni. A termikus hatásfok 38%-ról 70%-ra növelhet, míg az emissziós források száma az adagoló nyílások számának csökkentése miatt kevesebb.

## 7 NAGYOLVASZTÓK

### 7.1 Alkalmazott eljárások

Az első, koksszal dolgozó nagyolvasztót 1735-ben állították üzembe [Ullmann`s, 1994]. A nagyolvasztó maradt a legfontosabb nyersvasgyártó berendezés, s várhatóan uralni fogja a nyersvas előállítását legalább a következő húsz esztendőre [Lüngen, 1995].

A nagyolvasztó olyan zárt rendszer, amelybe a torok részen át folyamatosan adagolják be a vashordozó anyagokat (darabos vasércet, zsugorítványt és/vagy pelletet) és a kokszot egy adagoló rendszer segítségével, amely megakadályozza a torokgáz (BF-gáz) elszökését. A 7.2. ábra a nagyolvasztó egyszerűsített vázlatát mutatja be az öntőcsarnokkal, a léghevítővel és a BF-gáz kétlépcsős kezelésével együtt.

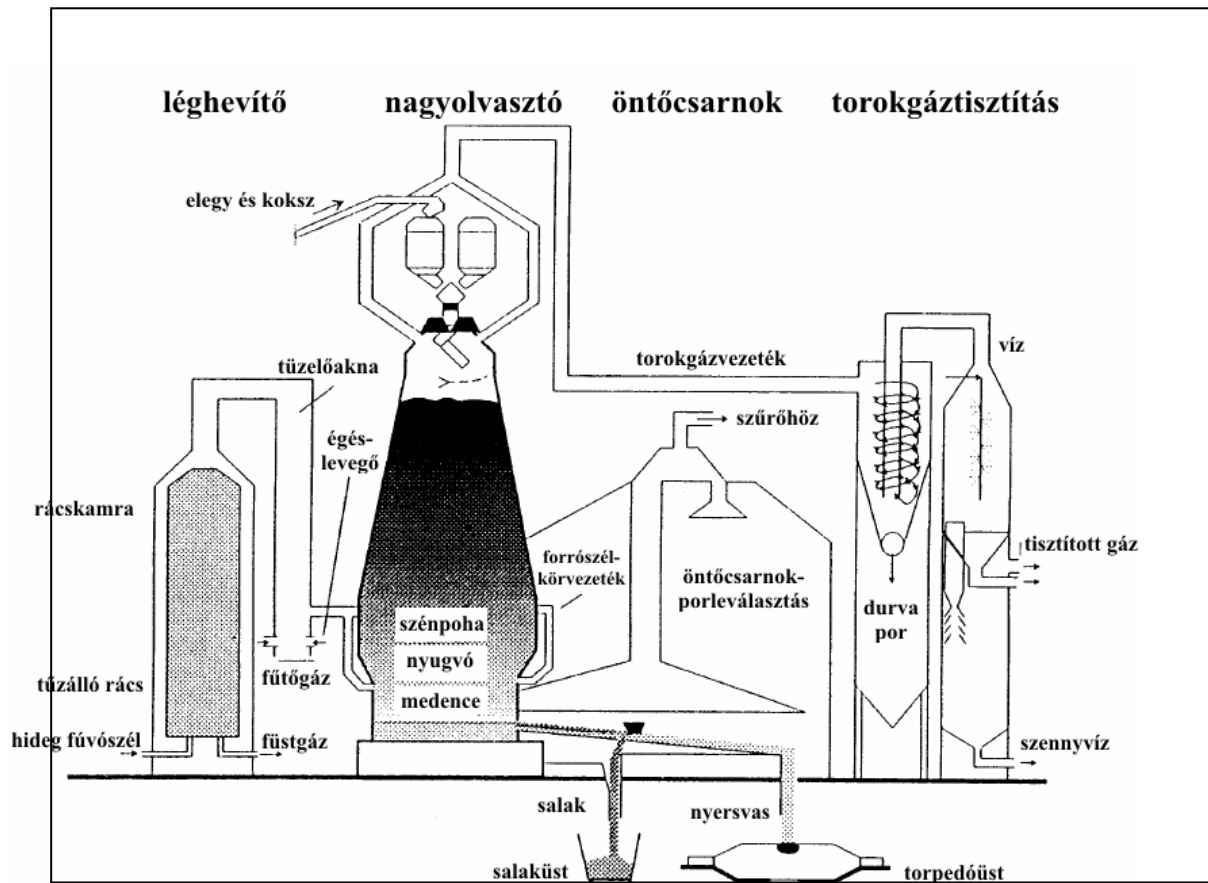
A felmelegített fűvószelet oxigénnel és pótlólagos redukáló anyagokkal (szénpor, olaj, földgáz és néhány esetben műanyag) a fűvósíkban fűvatják be. A fűvószél reakcióba lép a redukáló anyagokkal és főleg CO-t termel, ami a vasoxidokat fémes vassá redukálja. A folyékony nyersvas a medencében gyűlik össze a salakkal együtt, majd ezeket időnként lecsapolják. A folyékony nyersvasat rendszerint torpedóüstben szállítják az acélműhöz és a salakot megfelelően kezelik az útépitéshez és a cementgyártáshoz való felhasználás céljából. A torokgázt (BF-gáz) a nagyolvasztó torkánál gyűjtik össze, majd kezelését követően fűtőanyagként használják fel hevítésre vagy áramfejlesztésre a művön belül.

Számos redukáló anyag áll rendelkezésre. Koksz, szénpor, olaj, földgáz, vagy manapság műanyagok formájában általában megfelelő mennyiségben és megfelelő áron érhetők el. A kiválasztást azonban nemcsak az ár dönti el. A koksz nemcsak redukáló anyag, hanem vivőhordozója is a nagyolvasztó elegyoszlopának. Ezen hordozó kapacitás nélkül nem volna lehetséges a nagyolvasztó működése.

A jelenleg felhasznált vasérc főleg hematitot ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) és néha kismennyiségű magnetitet ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) tartalmaz. A nagyolvasztóban ezek az elegyalkotók egyre nagyobb mértékben redukálódnak vasoxidá ( $\text{FeO}$ ), majd szilárd vassá. Végül a reakciók befejeztével megolvad a vas és a folyékony nyersvas és salak a medencében gyűlik össze. A karbon CO, a CO  $\text{CO}_2$  képződése közben redukál. Folyósítókat és adalékokat visznek be a nagyolvasztóba annak érdekében, hogy csökkentsék a salak olvadáspontját, javítsák a salak kénfelvételt, biztosítsák a folyékony nyersvas megkívánt minőségét, és lehetővé tegyék a salak tovább feldolgozását.

A nagyolvasztó fontosabb műveletei:

- A nyersanyagok beadagolása
- A forró fűvószél előállítása
- A redukáló anyagok befűvatása
- Csapolás és öntés
- A salak kezelése



7.2. ábra: A nagyolvasztó vázlatos rajza - [UBA Rentz, 1996]

### 7.1.1 Adagolás

A vashordozó anyagok és hozaganyagok keverékét, az "elegyet" a koksszal együtt a nagyolvasztó torkán adagolják be szkip vagy szállítószalag segítségével. Zárt adagoló rendszer biztosítja azt, hogy izolálja a kemencegázokat (a torokgázt) az atmoszférától. Erre azért van szükség, mert a nagyolvasztóban uralkodó nyomás nagyobb a légköri nyomásnál (0.25 - 2.5 bar).

A zárt adagoló rendszer kúpos, vagy kúp nélküli. Némi szilárd részecske- és BF-gázemisszió lehetséges az adagolás során. A gáz toroktól való elszívásával és a torokgáz-kezelő rendszerhez vezetésével lehet szabályozni az emissziókat a folyamat ezen szakaszában.

### 7.1.2 Léghevítők

A nagyolvasztó működéséhez szükséges forrószelet a léghevítők biztosítják. Ezek kiegészítő berendezések, amelyek a fűvósél felmelegítésére szolgálnak. A fűvósél biztosítja, hogy elegendő oxigén álljon rendelkezésre a koksz elgázosításához, és hogy a keletkezett gáz, az eleggyel részben érintkezve redukálja a vasoxidokat, és előmelegítse az elegyet.

A léghevítők ciklikusan dolgoznak. Gáz - általában torokgáz - felhasználásával addig hevítik fel, míg a léghevítő kupolája el nem éri a megfelelő (megközelítően 1100-1500°C) hőmérsékletet. Ekkor megszakítják a gáz elégetését, és hideg környezet-levegőt áramoltatnak a léghevítőbe az eddigi áramlással ellentétes irányban. A hideg levegőt a nagyhőmérsékletű téglarács melegíti fel 900-1350°C hőmérsékletre. A fűvószelet ezután a nagyolvasztóba vezetik.

A léghevítők belső, vagy külső tűzakkás kivitelűek lehetnek. A megkülönböztetésnek a CO-emissziókkal kapcsolatban van jelentősége.

Minden nagyolvasztóhoz három vagy négy léghevítőre van szükség. A felhevítő szakaszban lépnek ki emissziók a levegőbe.

### 7.1.3 Nagyolvasztó

Az általános leírás sorra veszi a nagyolvasztó hat hőmérséklet-zónáját és áttekinti

- a torok,
- az akna,
- a szénpoha,
- a nyugvó,
- a fűvósík és
- a medence

metallurgiai folyamatait.

A *torokgáz* (BF-gáz) 20-28% CO-t, 1-5% H<sub>2</sub>-t, 50-55% N<sub>2</sub>-t, 17-25% CO<sub>2</sub>-t, némi kenet és cianidvegyületeket, valamint nagymennyiségű, az elegyből származó port tartalmaz. Fűtőértéke megközelítően 2.7-4.0 MJ/Nm<sup>3</sup>. A nagyolvasztó torokgáz-termelése 1200-2000 Nm<sup>3</sup>/t nyersvas.

A nagyolvasztó elegyének egyes fémek alkotói részben elpárolognak, részben lerakódnak a kohó különböző részein. Ilyen fémek a cink és az ólom. Az elegy összes cinktartalma 100-250 g/t nyersvas.

A nagyolvasztó megfelelő hőmérsékletvezetésével el lehet érni, hogy a cink zömét ZnO-részecskék alakjában távolítsák el a torokgázzal, amelyet aztán a torokgáz kezelése során csaknem teljesen le lehet választani [Pazdej, 1995].

A legtöbb nagyolvasztó alkalmazza a *redukáló anyagok közvetlen befűvását*. Két vállalat megkezdte a műanyag hulladékok befűvását is nagy szénhidrogén-tartalmuk felhasználására a redukáló folyamatban [UBA-Comments, 1997].

A nagyolvasztó medencéjében összegyűlt folyékony nyersvasat és salakot periódikusan *csapolják le*. A kapacitásától függően egy-négy csapolónyílása van a nagyolvasztónak.

Korszerű nagyolvasztónál együtt csapolják a nyersvasat a salakkal. A salakot azután a salaklevezetőben választják el a nyersvasától. A folyékony nyersvas ezután a nyitott vagy zárt üstbe vagy torpedóüstbe jut. A folyékony nyersvas hőmérséklete ilyenkor 1440-1500°C. A salakot csatornákon átfolyatják a granuláló berendezésbe vagy salaküstbe, illetve nyitott gödörbe.

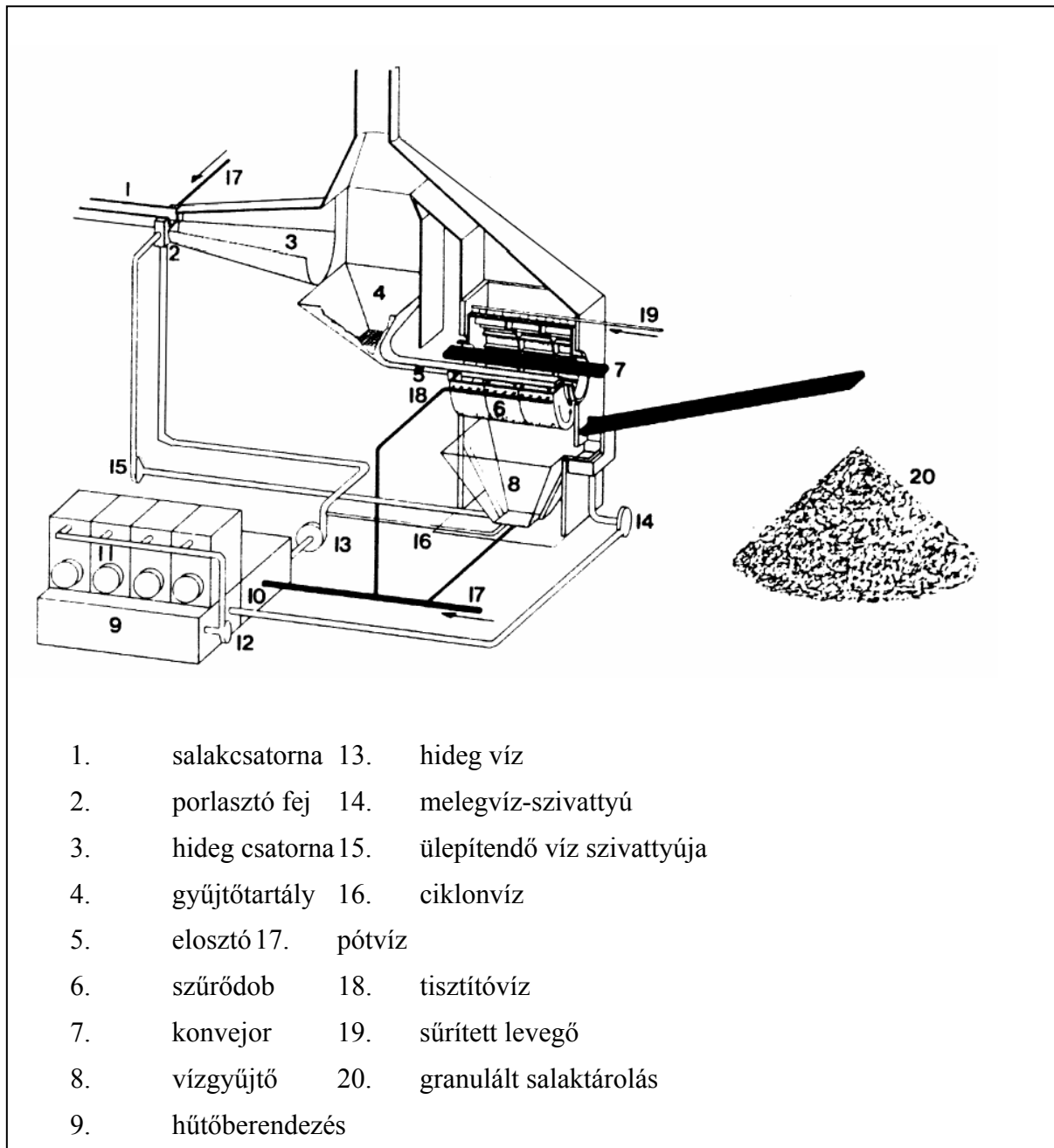
A csapolás végén tűzálló dugaszolómasszával mechanikusan zárják el a csapolónyílást.

A salak számos területen használható fel, így az útépitéshez, cementgyártáshoz, hőszigeteléshez stb. Előkészítéséhez az alábbi eljárások használatosak:

- salakgranuláló eljárás,
- salakgödör-eljárás és
- salakpellemező eljárás.

Az EU 15-ben legelterjedtebb salakkezelő eljárás a *granulálás*. Az eljárás során a salakot nagy nyomású vízpermettel porlasztják a nagyolvasztó közelében elhelyezett granuláló fejben. A 7.5. ábra az INBA-eljárás elvét mutatja be.





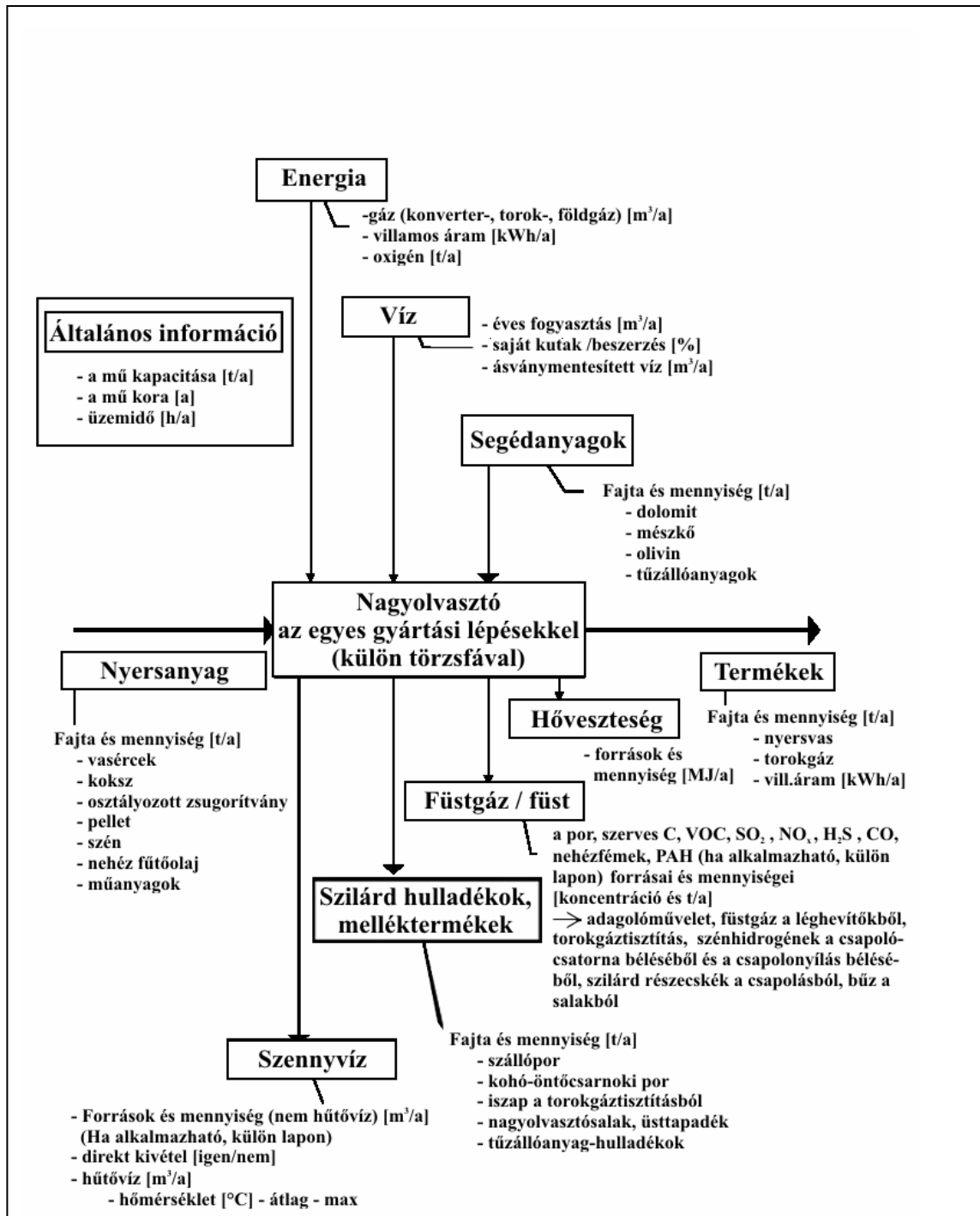
7.5.ábra: A nagyolvasztó-salak granulálása az INBA-eljárás szerint - [Radoux, 1982]

A *salakgödör-eljárás* abból áll, hogy a salakot vékony sugárban folytatják a nagyolvasztóhoz közeli gödörbe. A gödört szakaszosan töltik meg és ürítik ki. A megszilárdult salakot apróra törik

A *salakpellemező eljárás*t kevés műben használják az EU 15-ban és Kanadában. A folyékony salakot egy lemezen terítik szét, szabályozott vízszugárral hűtik le és darabolják fel.

## 7.2 Jelenlegi emissziós és felhasználási szintek

A 7.6.ábra a nagyolvasztó be- és kimenő tömegáramát mutatja be. Ez az áttekintés felhasználható az egyes nagyolvasztók adatainak összegyűjtésére.



7.6.ábra: A nagyolvasztó tömegáramának áttekintése

Ezután mind a fajlagos beviteli tényezőket, mind a fajlagos emissziós tényezőket ki lehet számítani. A 7.1.táblázat mutatja be ezeket a tényezőket.

Az adatok 1996-ból valók, az emissziós adatok a csökkentés utáni emissziók; nincs információ arról, hogy hogyan nyerték az adatokat, hogy milyen módszert alkalmaztak a próbavételhez, az elemzéshez, nem ismeretesek az időintervallumok és a referencia-körülmények.

Bevitel		Kihozatal			
<i>Nyersanyagok</i>		<i>Termékek</i>			
Zsugorítvány* <sup>1</sup>	kg/t nyersvas	720-1480	Nyersvas	kg/t	1000.0
Vasérc* <sup>1</sup>	kg/t nyersvas	25 - 350			
Pellet* <sup>1</sup>	kg/t nyersvas	100 - 770	<i>Energia</i>		
Koksz* <sup>1</sup>	kg/t nyersvas	280 - 410	BF-gáz	MJ/t ny.v.	4400-5000
Szén* <sup>2</sup>	kg/t nyersvas	0 - 180	Vill.áram	MJ/t ny.v.	kb. 750
Nehézolaj* <sup>3</sup>	kg/t nyersvas	0 - 60			
Égetettmész	kg/t nyersvas	0 - 10			<i>Gázemissziók*<sup>7</sup></i>
Recikl.anyagok	kg/t nyersvas	2 - 8	Por	g/t LS* <sup>8</sup>	10 - 50
Műanyagok* <sup>4</sup>	kg/t nyersvas	0 - 30	Mn	g/t LS	<0.01-0.13
	Ni	g/t LS			<0.01-0.02
	Pb	g/t LS			<0.01-0.12
<i>Energia</i>		SO <sub>2</sub>	g/t LS		20 - 230
Torokgáz	MJ/t nyersvas	1050-2700	NO <sub>x</sub>	g/t LS	30 - 120
Kokszkemence- gáz	MJ/t nyersvas	90 - 540	H <sub>2</sub> S	g/t LS	0.2 - 20
Földgáz	MJ/t nyersvas	50 - 230	CO	g/t LS	770 - 1750
Vill.áram	MJ/t nyersvas	270 - 370	CO <sub>2</sub>	kg/t LS	280 - 500
		PCDD/F	µgI-TEQ/tLS		<0.001-0.004
Oxigén* <sup>5</sup>	m <sup>3</sup> /t nyersvas	25 - 55			
Maradékok/melléktermékek					
Gőz	MJ/t nyersvas	22 - 30			
Salakok			kg/t LS		200 - 290
		Torokgáz-por	kg/t LS		6 - 16
Sűrített levegő	m <sup>3</sup> /t nyersvas				9 - 11
Torokgáz-iszap			kg/t LS		3 - 5
		Por az öntőcsarnok porleválasztásából	kg/t LS		0.5 - 1.5
Víz	m <sup>3</sup> /t nyersvas				0.8 - 50
Kaparék			kg/t LS		14 - 25
Szennyvíz			m <sup>3</sup> /t LS		0.1 - 3.3* <sup>9</sup>

Megjegyzés. LS = folyékony acél (nyersacél)

\*<sup>1</sup> egyedi helyi körülményektől függően

\*<sup>2</sup> a szénporbefúvatás esetében - ami növekvő gyakoriságú, de nem általános (140-180 kg szén/t nyersvas van alkalmazva)

\*<sup>3</sup> olajbefúvatás esetében - max. 140 kg/t nyersvas realizálható

\*<sup>4</sup> 1998-ban az EU 15-ben csak két helyen fúvattak be műanyagot

\*<sup>5</sup> pótlólagos oxigénbevitel nem mindig szükséges

- \*6 torokgázturbina esetében
- \*7 a nagyolvasztóból származó összes emisszió nem foglalja magába a torokgáz más üzemben végzett elégetését
- \*8 a használt átszámítási tényező (az összes európai nagyolvasztók súlyozott átlaga). 940 kg nyersvas/t LS
- \*9 nagyobb is lehet a nyersanyagok nagy sótartalma esetében

7.1. táblázat: Bevitel/kihozatal-adatok négy különböző EU tagállam négy meglévő nagyolvasztójára

A 7.2.táblázat a 7.1. táblázat információit egészíti ki a nagyolvasztó főbb műveletei során a (csökkentés után) levegőbe jutó emissziók tényezőire vonatkozóan.

Művelet/ emisszióforrás		Por [g/t LS]	H <sub>2</sub> S [g/t LS]	SO <sub>2</sub> [g/t LS]	NO <sub>x</sub> [g/t LS]	CO [g/t LS]
Adagolózóna	n/r	25/5-38* <sup>3</sup>	l.s.	l.s.	l.s.	l.s.
	x±s	14±13				
Szénelőkészítés	n/r	15/2-54	l.s.	l.s.	l.s.	l.s.
	x±s	12±16				
Öntőcsarnok	n/r	12/2-79* <sup>4</sup>	5/0.3-4* <sup>5</sup>	12/2-250* <sup>6</sup>	4/1-27* <sup>7</sup>	l.s.
	x±s	30±24	-	70±34	-	
Salakgranulálás	n/r	n/a	14/1-300* <sup>8</sup>	13/1-142* <sup>8</sup>	l.s.	l.s.
	x±s		63±95	31±42		
Léghevítők	n/r	3-6	l.s.	45/15-375* <sup>9</sup>	41/10-550* <sup>10</sup>	29/50-2700* <sup>11,12</sup>
	x±s	-		120±100	82±102	700±735

Megjegyzés: LS: folyékony acél(nyersacél); x±s = a standard eltérés középértéke(csak elegendő adat rendelkezésre állása esetén van kiszámítva); n = az adatok száma; r = az adatok tartománya (min-max); l.s. = alacsony szignifikancia; n/a = nem áll rendelkezésre

- \*1 adatok az [EC Study, 1996]-ból
- \*2 az alkalmazott átszámítási tényező (az összes európai oxigénes konverteracélművek súlyozott átlaga): 940 kg nyersvas/t LS
- \*3 ésszerűtlenül alacsony emissziós tényezőt (< 1 g/t LS) nem vettek figyelembe; nedves tisztítókról sincs adat, ezeknek sokkal nagyobb az emissziós tényezőjük (2-20-szor nagyobb)
- \*4 adatok folyamatos méréssel dolgozó művelekből
- \*5 egy szélsőséges, 64 g H<sub>2</sub>S/t LS-értéket nem véve figyelembe
- \*6 belevéve két nagy, 180 és 250 g SO<sub>2</sub>/t LS-értéket, az összes többi értéke 100 g/t LS alatt van
- \*7 egy 2450 g NO<sub>x</sub>/t LS-értéket nem véve figyelembe

- \*8 az alacsony (1 g/t LS körüli) értékek füstkondenzációs granuláló üzemekből származnak
- \*9 8 érték szignifikánsan nagyobb (>200 g SO<sub>2</sub>/t LS) a felhasznált kokszkemencegáz SO<sub>2</sub>-tartalma miatt
- \*10 3 érték szignifikánsan nagyobb (>300 g NO<sub>x</sub>/t LS) az elégetés körülményei miatt
- \*11 nagy érték fordulhat elő belső elégetőkamrás léghevítők esetében
- \*12 nem világos, hogy az elegyadagolás alatti emissziókkal együtt vagy anélkül

7.2.táblázat: A nagyolvasztók levegőbe jutó emisszióinak emissziós tényezői

A torokgáz kezelés előtti és kezelés utáni összetételét a 7.3., illetve a 7.4.táblázat tekinti át.

Nyers torokgáz-komponens	Mennyiség	Mértékegység	Fajlagos mennyiség	Mértékegység
BF-gáz termelés	1.0-7.0	1.10 <sup>5</sup> Nm <sup>3</sup>	1200-2000	Nm <sup>3</sup> /t nyv.
Szilárd szemcse	3500-30000	mg/Nm <sup>3</sup>	7000-40000	g/t nyv.
Szénhidrogének(C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> )	67-250	mg/Nm <sup>3</sup>	130-330	g/t nyv.
Cianidok(CN <sup>-</sup> -ként)	0.26-1.0*	mg/Nm <sup>3</sup>	0.5-1.3	g/t nyv.
Ammónia (NH <sub>3</sub> )	10-40	mg/Nm <sup>3</sup>	20-50	g/t nyv.
PAH**	0.08-0.28	mg/Nm <sup>3</sup>	0.15-0.36	g/t nyv.
Benzo(a)pirén	0.15-0.56	mg/Nm <sup>3</sup>	0.30-0.72	g/t nyv.
Fluorantén				
Szénmonoxid(CO)	20-28	térf.%	300-700	kg/t nyv.
Szendioxid(CO <sub>2</sub> )	17-25	térf.%	400-900	kg/t nyv.
Hidrogén(H <sub>2</sub> )	1-5	térf.%	1-7.5	kg/t nyv.

\* a lefűtás alatt lényegesen nagyobbak lehetnek az emissziók

\*\* sok más policiklusos aromás szénhidrogén (PAH) is jelen van

7.3.táblázat: Nyers torokgáz összetétele (kezelés előtt) - [InfoMil, 1997] nyomán

Kezelt torokgáz-komponens	Mennyiség	Mértékegység	Fajlagos mennyiség	Mértékegység
Torokgáz-termelés	1.0-7.0	1.10 <sup>5</sup> Nm <sup>3</sup> /h	1200-2000	Nm <sup>3</sup> /t nyv.
Szilárd részecske	1-10	mg/Nm <sup>3</sup>	1-20	g/t nyv.
H <sub>2</sub> S	14	mg/Nm <sup>3</sup>	17-26	g/t nyv.
Cianidok (CN-ként)	n/a	mg/Nm <sup>3</sup>	n/a	g/t nyv.
Ammónia (NH <sub>3</sub> )	n/a	mg/Nm <sup>3</sup>	n/a	g/t nyv.
Nehézfémek**	0.10-0.29	mg/Nm <sup>3</sup>	0.22-0.37	g/t nyv.
Mn	0.01-0.05	mg/Nm <sup>3</sup>	0.02-0.07	g/t nyv.
Pb	0.03-0.17	mg/Nm <sup>3</sup>	0.07-0.22	g/t nyv.
Zn				
Szénmonoxid(CO)	20-28	térf.%	300-700	kg/t nyv.
Szendioxid (CO <sub>2</sub> )	17-25	térf.%	400-900	kg/t nyv.
Hidrogén (H <sub>2</sub> )	1-5	térf.%	1-7.5	kg/t nyv

n/a = nincs adat

7.4. táblázat: Nagyolvasztói torokgáz összetétel (kétszakaszos kezelés után) - [InfoMil,1997] nyomán

A szilárd hulladék/melléktermék-emissziók közül az öntőcsarnokból származó port zsákszűrővel lehet leválasztani és a zsugorító szalagra visszavezetni.

A torokgázt általában két lépcsőben kezelik: a durva port ciklonokban, a finom port pedig ezt követően nedves mosóban választják le. A durva port rendszerint a zsugorító szalaghoz irányítják, az iszap esetében azonban ez nehézségekbe ütközik, mivel cinktartalma 10-20-szor, ólomtartalma pedig 20-30-szor nagyobb. A legtöbb esetben talajfeltöltésre használják az iszapot. A por és az iszap sorsa az az EU-ban, hogy 64%-át reciklálják, 33%-át talajfeltöltéshez irányítják, 1%-át művön kívül használják fel, 1%-át tárolják és 1%-át eladják.

A nagyolvasztó salakjának összetétele a 7.7.táblázatban látható.

Megnevezés	Nagyolvasztó-salak	
	> 1.0	< 1.0
CaO/SiO <sub>2</sub>	közepes	nagy
MgO-tartalom		
Feösszes	0.2 - 0.6	0.4
Mnösszes	0.2 - 0.7	0.3
TiO <sub>2</sub>	0.5 - 2.7	0.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.0 -14.0	9.2

Sösszes, főleg CaS	1.1 - 2.0	1.6
SiO <sub>2</sub>	33.2-37.0	38.4
CaO	38.1-41.7	35.6
MgO	7.0-11.0	18.0
Na <sub>2</sub> O	0.3-0.6	0.5
K <sub>2</sub> O	0.6-0.8	0.8
CaO/SiO <sub>2</sub>	1.1-1.2	0.9
(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	1.3-1.5	1.2

7.7.táblázat: 1.0 -nél kisebb és annál nagyobb bázikusságú nagyolvasztó-salakok kémiai összetétele tömeg%-ban - [Geiseler, 1992]

Az EU-ban a nagyolvasztó-salak 64%-át eladják, 26%-át a cementiparban, 8%-át az útépitésben használják fel, 2%-át talajfeltöltéshez irányítják és 0.4%-át tárolják.

A szennyvíz-emissziót illetően a torokgázmosóból kikerülő vizet ülepítik, lehűtik és visszavezetik a mosóhoz.

### 7.3 A BAT meghatározásakor figyelembeveendő technikák

Az alábbi technikákat ajánlják megfontolásra:

Folyamatba integrált megoldások:

- Redukáló anyagok közvetlen befúvatása
- Torokgáz-energia visszanyerése
- Torokgáznyomás energia visszanyerése
- Léghevítők energiamegtakarítása
- Kátránymentes csapolócsatorna-bélés alkalmazása

A technológiai lánc végén alkalmazott eljárások:

- Torokgáz-kezelés
- Csapoló nyílások és csatornák porának leválasztása
- Füstcsökkentés öntés alatt
- Nagyolvasztó-iszap hidrociklonos kezelése
- Mosóvíz kezelése és újrahasznosítása
- Salakgranuláló füstjének kondenzálása

A redukáló anyagok közvetlen befúvatása révén a nettó energiamegtakarítás 3.76 GJ/ befúvott szénpor. 180 kg/t nyersvas befúvatási intenzitás mellett az energiamegtakarítás 0.68 GJ/t nyersvas vagy az összes nagyolvasztói energiafogyasztás 3.6%-a.

Az üzemköltség 10 Ecu<sub>1996</sub>/GJ volt 1988-ban [InfoMil, 1997]. Azonban ez a költség a kisebb kokszfogyasztás révén megtérül [Campbell, 1992]. A British Steel, UK - Port Talbot 4. nagyolvasztójánál megvalósított szénporbefúvás 1997-ben kb. 24 MEcu-ba került.

A torokgáznyomásból való energiavisszanyerést expanziós turbina segítségével lehet megvalósítani.

---

2 - 2.5 bar toroknyomás esetén 15 MW villamos teljesítményt lehet realizálni korszerű nagyolvasztónál. A megtakarítás a nagyolvasztó összes energiaigényének 2%-a.

A *léghevítőknél energiamegtakarítást* az alábbi módszerekkel lehet megvalósítani:

1. Számítógépes működés-vezérléssel 5%-kal javítható a hatékonyság. Ez megközelítően 0.1 GJ/t nyersvas energiamegtakarítást jelent.
2. A fűtőanyag előmelegítésével kb. 0.3 GJ/t nyersvas energiamegtakarítást lehet elérni.
- 3/4. Tökéletesebb elégetést biztosító égőkkel és gyors O<sub>2</sub>-méréseken alapuló elégetési körülmény-módosítással 0.04 GJ/t nyersvas energiamegtakarítás realizálható.

Fentiekre vonatkozó tipikus beruházási költség egy nagyolvasztóra, ill. a hozzákapcsolt léghevítőkre vonatkozóan 6 MEcu<sub>1997</sub>.

A *kátránymentes csapolócsatorna-bélés* segítségével az alábbi emissziócsökkentést lehet megvalósítani.



Komponens	Hagyományos csatornabélés (g/t nyersvas)	Kátránymentes csatornabélés (g/t nyersvas)	Emissziócsökkenés (%)
Illó szerves vegyületek (VOC)	100	1	99
Policiklusos aromás szén- hidrogének (PAH)	3.5	0.03	99

7.11. táblázat: A csapolócsatorna béléséből származó emissziók - [InfoMil, 1997]

A csapolónyílások és csapolócsatornák porleválasztása azért előnyös, mivel a csapolás és öntés alatt a folyékony nyersvas és a levegő oxigéntartalmának érintkezése során barna füst formájában keletkező vasoxidok (pl.  $Fe_2O_3$ ) 99%-ban elkülöníthetők és a zsugorítómuve visszavezethetők.

Az öntőcsarnok porleválasztó rendszerének beruházási költsége pl. a Voest Alpine-nél (kb. 3 millió t/a nyersvastermelés) megközelítően 14.5 MEcu<sub>1996</sub> volt. Az üzemköltségek (energia nélkül) kb. 0.42 MEcu<sub>1996</sub> évente.

A füstképződés visszaszorítása korszerűen úgy történik, hogy a folyékony nyersvas szállítása során a barna füst keletkezési pontjain gondosan lefedik azt és a kialakult térbe nitrogént vezetnek. A porképződés így századára csökkenthető. A Stahlwerke Bremen 3 Mt nyersvas/a termeléséhez szükséges berendezése a füstcsökkentéssel és a csapolónyílás porleválasztásával és a zsákszűrővel együtt 6.8 MEcu<sub>1996</sub>-ba került. Az energiaköltség kb. 190000 EURO/a és a karbantartási költség kb. 170000 EURO/a. Ez harmada-negyede a hagyományos porleválasztó rendszerekének.

A nagyolvasztó torokgázának tisztítása során nyert iszap hidrociklonos kezelésének segítségével egy cinkben gazdag és egy cinkben szegény frakció nyerhető. A kezelés során elérhető cinktartalmakra a 7.12.táblázat ad felvilágosítást.

	Fajlagos iszapképződés, (kg/t nyersvas)	Zn %	Tömeg száraz állapotban, %	Kezelés
Kezeletlen iszap	1.0 - 9.7	0.1 - 2.5	100	Hidrociklon
Hidrociklonos sűrítmény	0.2 - 2.7	1 - 10	20 - 40	Tárolás/talajfeltöltés
Hidrociklonos végoldat	0.8 - 7.8	0.2 - 0.6	60 - 80	Reciklálva a zsugorítóba

7.12.táblázat: Példa a hidrociklonban kezelt nagyolvasztói iszap cinktartalmára - [Pazdej, 1995; InfoMil, 1997] alapján

Egy háromfokozatú, 20000 t/a kapacitású hidrociklon beruházása 2 MEcu<sub>1994</sub> és az üzemköltség 25 Ecu/t [UBA Rentz, 1996].

A torokgázkezelő *mosóvizének tisztítását* körkörös ülepitő tankokban végzik flokulánsok (anionos polielektrolitok, kevert polimérek vagy aktivált kovasavak) adagolása mellett.

A Hoogovens IJmuiden-nél a nagyolvasztói szennyvízkezelő berendezés megközelítően 18 MEcu<sub>1996</sub>-be került.

#### 7.4 Következtetések

A nagyolvasztókra a következő technikákat vagy azok kombinációit tekintik BAT-nak:

1. Torokgáz újrahasznosítása;
2. Redukáló anyagok közvetlen befűtatása;  
pl. 180 kg/t nyersvas szénporbefűtatás széles körben alkalmazott, de nagyobb befűtatási arány is lehetséges.
3. A torokgáz nyomásának energiája is hasznosítható, ha az előfeltételek biztosítottak.
4. Léghevítők
  - <10 mg/Nm<sup>3</sup> por és <350 mg/Nm<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> emissziós koncentráció érhető el (3% oxigéntartalomra vonatkoztatva)
  - energiamegtakarítások ott, ahol a konstrukció megengedi.
5. Kátránymentes csapolócsatornabélés alkalmazása.
6. Torokgázkezelés hatékony porleválasztással;
  - A durva szilárd szemcsés anyagot főleg száraz szeparálási módszerrel (pl. deflektorral) választják le és ezután újra felhasználják. Ezután a finom szemcsés anyagot választják le:
    - gázmosással vagy
    - nedves elektrosztatikus porleválasztóval vagy
    - bármely más, hasonló leválasztási hatékonyságú eljárással;
  - < 10 mg/Nm<sup>3</sup> visszamaradó szilárd szemcse-koncentráció érhető el.
7. Öntőcsarnoki por leválasztása (csapolónyílás, csatornák, lesalakolók, torpedóüst adagoló pontjai);
  - Az emissziókat a csapolócsatornák befedésével és a már említett emissziós tisztítással kell csökkenteni. 1 - 15 mg/Nm<sup>3</sup> poremisszió-koncentrációt lehet elérni. A fugitív (elszökő) emissziókra 5 - 15 g por/t nyersvas érhető el.; itt a leválasztás hatékonysága fontos szerepet játszik.
  - Füstlefojtás nitrogén alkalmazásával (speciális körülmények között, pl. ha az öntőcsarnok kialakítása megengedi és nitrogén rendelkezésre áll).
8. A nagyolvasztógáz (torokgáz)-mosótorony szennyvizének tisztítása;
  - A mosóvíz felhasználása annyiszor, ahányszor csak lehetséges;
  - A szuszpendált szilárd anyagok koaguláltatása/leülepitése (éves átlagként <20 mg/l visszamaradt szilárd anyag-szint érhető el, egyes napi érték akár 50 mg/l is lehet;
  - Az iszap hidrociklonos kezelése és ezt követően a durva frakció újrahasznosítása, amennyiben a szemmagyság-megoszlás észszerű leválasztást tesz lehetővé.
9. A salakkezelés emisszióinak és a talajfeltöltésre kerülő salak mennyiségének minimalizálása;

- A salak granulálása előnyös ott, ahol a piaci feltételek kedvezőek.
- A füstöt kondenzáltatni kell, ha a szagesökkentés kívánalom.  
Ott, ahol salakgödörbe csapóznak, csökkenteni kell a túlzott vízhűtést vagy el kell kerülni, ha az lehetséges és ahol a területi korlátozások megengedik.

10. A szilárd hulladékok/melléktermékek minimalizálása.

A szilárd hulladékokra a következő eljárásokat kell figyelembe venni prioritási sorrendben:

- Szilárd hulladék képződések minimalizálása.
- Szilárd hulladékok/melléktermékek hatékony hasznosítása (reciklálása vagy újrafelhasználása); különösen a torokgáz tisztításából származó durva por és az öntőcsarnoki porleválasztásból származó por reciklálása, a salak teljes hasznosítása (pl. a cementiparban vagy az utépítésekhez).
- c. Az elkerülhetetlen hulladékok/melléktermékek ellenőrzött tárolása (a torokgáz-tisztítás iszapjának finomfrakciója, a kemencebontás törmelék egy része).

Elvben az 1 - 10 pontokban felsorolt technikák mind az új, mind a meglévő berendezésekhez alkalmazhatók, amennyiben az említett előfeltételek megvannak.

## 7.5 A hazai helyzet

A Magyar Vas-és Acélipari Egyesülés Műszaki Fejlesztési Irodája 2002. szeptember 17.-i ülésére a tagvállalatok környezetvédelmi helyzetéről és feladatairól készített előterjesztés alapján a hazánkban egy helyen, a dunaujvárosi Dunaferr Acélművek Kft-ben működő két nagyolvasztóban folyó nyersvasgyártásra jellemző emissziókat a 7/A.táblázat foglalja össze.

Megnevezés	Mérték- egység	EU-felmérés adatai	Magyar fajlagos szennyezések 2001-ben	
Légszennyezés		g/t foly.acél*		
Por		g/t	10 - 50	24
Mn		g/t	0.01 - 0.13	n.a.
Ni		g/t	0.01 - 0.02	n.a.
Pb		g/t	0.01 - 0.12	0.1
Zn		g/t		0.3
NO <sub>x</sub>		g/t	30 - 120	233
SO <sub>2</sub>		g/t	20 - 230	0
CO		g/t	770 - 1750	7.5 kg/t
CO <sub>2</sub>		kg/t	280 - 500	n.a.
PCDD/F	μg I-TEQ/t	0.001-0.004		n.a.
H <sub>2</sub> S		g/t	0.2 - 20	n.a.
Hulladékok/melléktermékek		kg/t foly.acél		
salak		kg/t	200 - 290	221
szállópor		kg/t	6 - 16	27
torokgáziszap		kg/t	3 - 5	7
öntőcsarnoki por		kg/t	0.5 - 1.5	4
szennyvíz		m <sup>3</sup> /t	0.1 - 3.3	n.a.

4 EU ország nagyolvasztóinak adatai alapján

\* 940 kg nyersvas/t folyékony acél feltételezésével

n.a nincs adat

7.A. táblázat: A nyersvasgyártásra jellemző emissziós értékek

---

## 7.6 Kialakuló technikák és jövőbeni fejlesztések

A 150 kg/t nyersvas szintet meghaladó szénporbefúvatás megvalósítására két módszert lehet alkalmazni.

1. Nagyobb fúvósél hőmérséklet biztosítása a levegő elektromos plazmás túlhevítésével.  
Ez a módszer csak ott gazdaságos, ahol olcsó elektromos energia áll rendelkezésre. Franciaországban végeztek el ilyen irányú kísérleteket.
2. A fúvósél oxigénnel való dúsítása.

Biztonsági okokból a fúvókákon keresztül történő oxigéninjektálás látszik előnyösnek.

Elméletileg 400 kg/t nyersvas szénporbefúvatási szint érhető el oxigénnel dúsított fúvósél alkalmazásával. Ebben az esetben legalább 30%-kal kell növelni a fúvósél oxigéntartalmát. A kapcsolatos kísérleteket már elvégezték kísérleti üzemben és ipari méretű nagyolvasztóban.

A salak hőtartalmának visszanyerése azért vonzó téma, mivel a folyékony salak kb. 1450°C hőmérsékletű és korszerű nagyolvasztókból 250-300 kg/t nyersvas salakot csapolnak, amelynek nagy az érzékelhető hőtartalma. Jelenleg azonban még nincsen a világon kifejlesztve biztonságos, megbízható és energiahatékony rendszer, amely ezeken túlmenően még a salak minőségét sem befolyásolja.

A becsült energiamegtakarítás 0.35 GJ/t nyersvas. Bár a módszer bevezetésére már végeztek kísérleteket, ipari méretű megvalósítás nem várható a közeljövőben.

## 8 BÁZIKUS OXIGÉNES (KONVERTER-) ACÉLGYÁRTÁS ÉS ÖNTÉS

Az első ipari méretű bázikus oxigénes konverter (BOF) 1953-ben Linzben lépett be a termelésbe. Ettől kezdve a BOF és a villamos ívkemence (EAF) kezdi kiszorítani a kis energia-hatékonyságú Thomas-, Bessemer- és Siemens-Martin-(SM) eljárást. Az EU-ban az utolsó SM-kemencét 1993-ban csapolták. Az EU 15-ben 1996-ban az acéltermelés kétharmadát a BOF-, egyharmadát pedig az EAF-eljárás adta.

### 8.1 Alkalmazott eljárások és technikák

Az oxigénes konverteracélgártás célja a fémes betét szennyezőinek kiégetése (azaz oxidálása). Az oxiddá alakított főbb elemek a karbon, szilícium, mangán és foszfor. Az oxidáló folyamat feladata ezért:

- a karbontartalom csökkentése az előírt szintre csökkentése (kb. 4%-ról 1 % alá),
- az előírt idegen elem-tartalmak beállítása,
- a nem kívánt szennyezők lehető legnagyobb mértékű eltávolítása.

Az acél gyártása a BOF-eljárással szakaszosan megy végbe a következő főlépésekben:

- a folyékony nyersvas szállítása és tárolása,
- a folyékony nyersvas előkezelése (kéntelenítése),
- hulladékberakás, nyersvasbeöntés,
- oxidáció a konverterben (dekarbonizálás és a szennyezők oxidálása),
- csapolás,
- szekunder-metallurgiai kezelés,
- öntés (folyamatosan vagy tuskóvá).

A folyékony *nyersvas* acélműbe *szállítása* nyitott üstben vagy torpedóüstben történik. Az előbbi esetben nyersvas-keverőre is szükség van az acélműben a *tárolás* céljából. Feladata a nagyolvasztó és az acélmű termelésingadozásának, valamint a kémiai összetétel-szórásoknak kiegyenlítése és az állandó hőmérséklet biztosítása.

A *folyékony nyersvasat* az oxigénes konverterbe öntése előtt *előkezelik*. A klasszikus módszer a következő lépésekből áll.

- Kéntelenítés.
- Foszfortalanítás.
- Desziliciozás.

Európában csak a kéntelenítést alkalmazzák széleskörűen, mivel a foszfortalanítás és a desziliciozás költséges és bonyolult technológiát igényel.

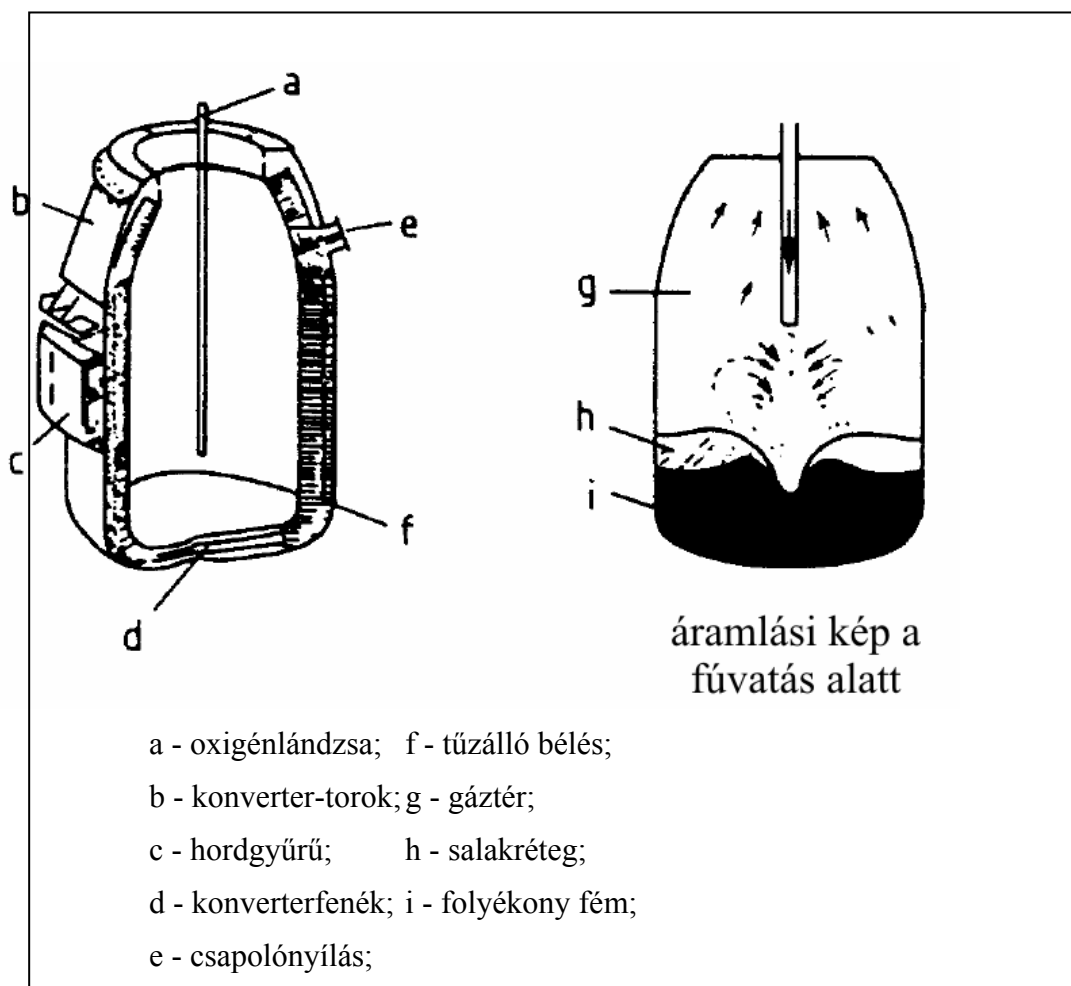
A korszerű gyártáshoz manapság 0.001 - 0.020 % kéntartalmat írnak elő a folyékony nyersvasra a konverterbe öntés előtt. A folyékony nyersvas kéntelenítése a nagyolvasztón kívül környezetkímélő eljárás is, mivel kisebb koks- és zsugorítvány-fogyasztást tesz lehetővé, csökkenti a nagyolvasztói és acélművi salak mennyiségét, javítja a metallurgiai salak minőségét, növeli a tűzállóbélések élettartamát és csökkenti az oxigénfogyasztást.

Az ismert kéntelenítő anyagok: kalciumkarbid, szóda, szódahamu, égetett mész és magnéziummal impregnált anyagok. Európában ma a kalciumkarbidos kéntelenítés a

legelterjedtebb, amely a korábban alkalmazott szódás kezelést hulladékelhelyezési és levegőminőségi problémák miatt szorította ki.

A szennyező elemek oxidálása, valamint a füstgázzal, illetve a salakkal való eltávolítása az oxigénes konverterben történik. A konverter szakaszosan működik. A teljes ciklus a következő lépésekből áll: a hulladék és a folyékony nyersvas beadagolása, az oxigénfúvatás, a próbavétel, a hőmérséklet beállítás és a csapolás. Korszerű acélművekben egy ciklus 30 - 40 percig tart.

A 8.4. ábra a felsőfúvatású oxigénes konverter vázlatos rajzát mutatja be.



8.4. ábra. Felsőfúvatású oxigénes konverter - [Ullmann's, 1994]

Más oxigénes konverter-eljárások is elterjedtek. Ezek egyik csoportjára az jellemző, hogy az oxigént és a folyósító anyagokat a konverter fenékén levő fúvókákon át juttatják a fürdőbe (OBM-, Q-BOP-, LWS-eljárás). Kombinált fúvatási technikák is elterjedtek. A folyamatot szükség szerint a konverter fenékén levő porózus betéteken át argon vagy nitrogéngáz befúvatásával gyorsítják. Fenékfúvókákon át is fúvathatnak be pótlólagosan oxigént vagy más gázokat. Ilyen eljárás az LBE- és a TBM-módszer. Az európai elterjedtségről a 8.1. táblázat ad képet.

Eljárás	Konverterek száma	Kapacitás [1000 t/a]
LD (Linz-Donawitz)	17	12400
LD fenékkeveréssel	44	64960
LBE	22	27550
OBM	5	2780
K-OBM	1	2200
LWS	2	400
Összesen	91	112810

8.1.táblázat. Az EU-ban működő bázikus oxigénes konverterek típusa, száma és éves kapacitása

A konverterben lefolyó reakciók többnyire exotermikusak, tehát növelik a folyékony nyersvas hőmérsékletét. Hulladékot, vasércet vagy más anyagokat adagolnak a konverterbe a hűtés céljából annak érdekében, hogy a kb. 1600 - 1650°C hőmérsékletet tartsák. Általában 10 - 20% hulladékbetéttel dolgoznak, de ez az arány akár 40 %-ig is emelkedhet.

Az oxigén befúvatása alatt keletkező gázok szénmonoxid-tartalma nagy. Sok acélmű ezért energiaforrásként használja a konvertergázokat. Mind a "nyitott elégetés", mind a "visszafojtott elégetés" módszerét alkalmazzák. A nyitott elégetés esetében levegőt visznek be a füstgázvezetékbe és így égetik el a szénmonoxidot. A képződött hőt füstgázkazánban nyerik vissza gőz termelése céljából. A visszafojtott elégetés módszerénél az oxigénfúvatás alatt lefedik a konverter száját. Így nem juthat be a levegő oxigénje a füstgázba, amelynek szénmonoxid-tartalmát így megőrzik, majd a füstgázt összegyűjtve tisztítják és a fűtőanyagként való későbbi felhasználásra tárolják.

A konverteres acélgyártás során képződött salakot lehűtés után törik, majd a fémes vasat mágnesesen szeparálják.

Az acélt a konverterben végbemenő oxidációs folyamat után általában különböző utókezelésnek vetik alá, amelyeket összefoglalóan "szekunder-metallurgiának" neveznek. Ezek célja az acéllal szemben támasztott növekvő minőségi igények kielégítése és egyben jelentős termelékenység-növelést is realizál, mivel kiemeli a metallurgiai finomító folyamatokat a konverterből.

A szekunder-metallurgia főbb céljai:

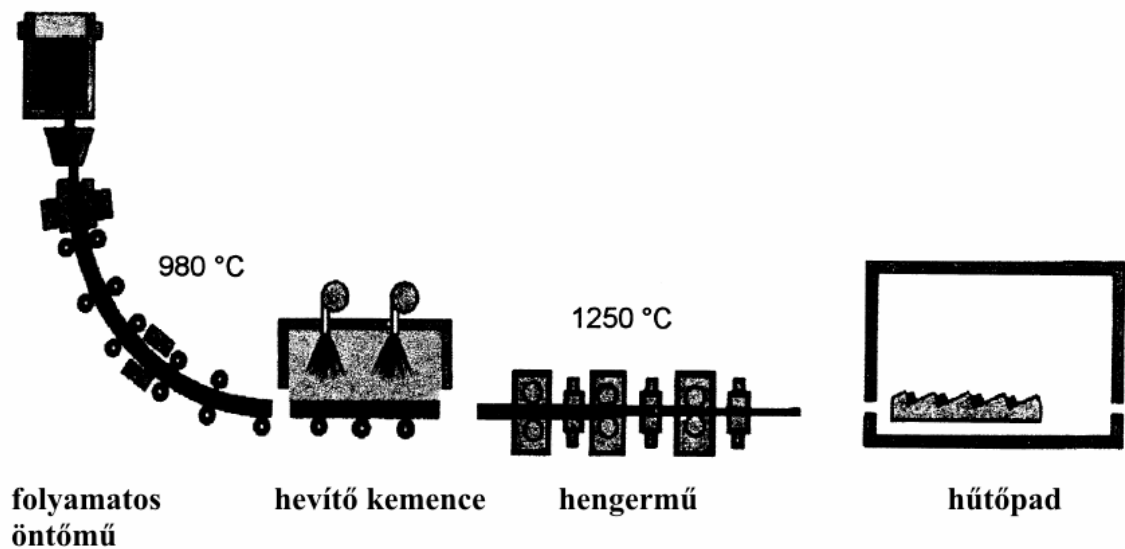
- keverés és homogenizálás,
- a kémiai összetétel beállítása szűk határok közé,
- a megfelelő öntési hőmérséklet beállítása,
- a dezoxidáció,
- nemkívánatos gázok, mint a hidrogén és a nitrogén eltávolítása és



- az oxidtisztség javítása a nemfémes zárványok mennyiségének csökkentésével.

A szekunder-metallurgia eszközei az üst, az üstkemence, a vákuumozó berendezés vagy erre a célra szerkesztett kemence. A szekunder-metallurgia fontos lépése a vákuumos kezelés. A művelet célja a dekarbonizálás, és a fűtési periódusban oldott gázok csökkentése. Így az oxigén-szintet 0.0002%-ra, a nitrogénét pedig 0.005%-ra lehet leszállítani a nyomásnak 10 mbar-ra történő csökkentésével.

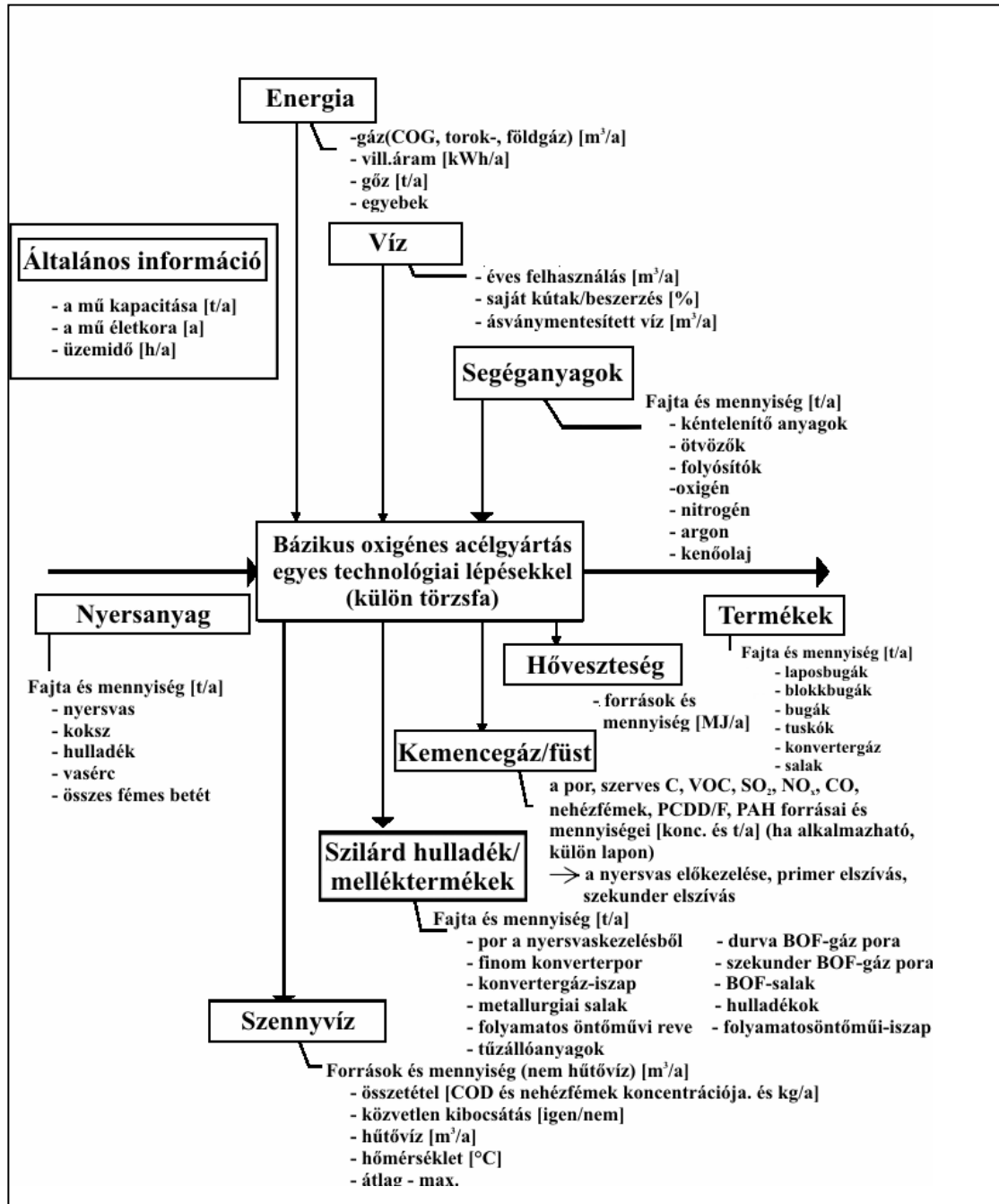
Az acél végleges minőségének beállítása után az *acél leöntése* következik. Ez ma már *folyamatos öntéssel* történik. A 8.8. ábra egy folyamatos öntőmű vázlatos rajzát mutatja.



8.8.ábra: Folyamatos öntőmű vázlatos rajza a hevítő kemencével és a melegbeadagolású hengerművel

## 8.2 Jelenlegi emissziós és felhasználási szintek

A 8.9.ábra az oxigénes konverteracélgártás tömegáramáról ad áttekintést.



8.9.ábra: A bázikus oxigénes konverteracélmű tömegáramának áttekintése

Ezek alapján a fajlagos beviteli és kihozatali tényezőket ki lehet számítani. Négy különböző EU tagállamban működő négy konverteracélmű adataiból kiértékelt tényezőket a 8.2.táblázat foglalja össze.

Bevitel		Kihozatal			
Nyersanyagok			Termékek* <sup>3</sup>	kg/t LS	1000.0
nyersvas	kg/t LS	820-980	Laposbugák		
hulladék		kg/t LS	170-255	Blokkbugák	
vasérc	kg/t LS	7 - 20	Bugák		
egyéb Fe-any.	kg/t LS	7 - 10	Tuskók		
kocsz	kg/t LS	0.02-0.48			
égetett mész	kg/t LS	30 - 55	<i>Energia</i>		
dolomit	kg/t LS	1.5 - 4	BOF-gáz* <sup>4</sup>	MJ/t LS	(0)-650-840
ötvözők* <sup>2</sup>	kg/t LS	3 - 9	Gőz* <sup>5</sup>	MJ/t LS	(0)-20-270
Gáz,emissziók					
Oxigénm <sup>3</sup> /t LS	45 - 55	Por	g/t LS	15 - 80	
		Cr* <sup>6</sup>	g/t LS	0.01-0.36	
		Cu* <sup>6</sup>	g/t LS	0.01-0.04	
Energia		Pb* <sup>6</sup>	g/t LS	0.13-0.9	
földgáz	MJ/t LS	20 -55	Mn* <sup>6</sup>	g/t LS	<0.01-1.2
vill.áram	MJ/t LS	38 - 120	NO <sub>x</sub>	g/t LS	5 - 20
			CO	g/t LS	1500-7960
			CO <sub>2</sub> * <sup>7</sup>	kg/t LS	11.2-140
Gőz	MJ/t LS	30 - 140	PAH* <sup>8</sup>	mg/t LS	0.08-0.16
			PCDD/F	µg I-TEQ/t LS	<0.001-0.06
Sűrített levegő	Nm <sup>3</sup> /t LS	4 - 18			
Maradékok/melléktermékek					
		Kéntelenített			
		salak	kg/t LS	2.2 - 19.2	
Víz	m <sup>3</sup> /t LS	0.4 - 5	BOF-salak	kg/t LS	85 - 110
			Salak szek.		
			met.-ból	kg/t LS	2 - 16
			Kidobódások	kg/t LS	4 - 5
			Porok	kg/t LS	1.5 - 7
			Salak folyam.		
			öntésből	kg/t LS	4 - 5
			Hengerm.reve	kg/t LS	1.2 - 6
			Bont.törmelék	kg/t LS	0.8 - 5

Szennyvíz m<sup>3</sup>/t LS ?

Megjegyzés: LS = folyékony acél (nyersacél)

\*1 különbséget kell tenni a nagy P-tartalmú (1.5-2.2%P) és a kis P-tartalmú (0.08-0.25%P) folyékony nyersvas között

\*2 fontos ötvözők: Fe-Ti, Fe-W, Fe-Ni, Fe-V, Fe-Si és Fe-Mo

\*3 a termékek összesítése (laposbugák, blokkbugák, bugák és tuskók)

\*4 nulla a BOF-gáz felhasználatlansága esetén

- \*5 a nagy érték a vissza nem fojtott elégetés és a füstgázokból hővisszanyerés révén gőztermelés esetén; nulla a a BOF-gáz hővisszanyerés nélküli teljes kinyerése esetén(nincs gőztermelés)
- \*6 nagyobb érték a nemkielégítő szekunder porleválasztás esetén
- \*7 nagy érték a BOF-gáz részbeni-teljes elégetése esetén
- \*8 PAH a Borneff 6 szerint; adat csak két műből van

8.2. táblázat: Az EU négy különböző tagállamának négy konverteres acélművéből származó beviteli/kihozatali adatai

A fenti adatok 1996-ból származnak. Az emissziós adatok a korszerűsítés utáni helyzetre jellemzők. Nem állnak rendelkezésre információk az olyan meghatározási adatokra vonatkozóan, mint a próbavételi módszerek, az elemző eljárások, az időintervallumok, a számítási metódusok és a referencia-feltételek.

A 8.2. táblázat kiegészítésére a 8.3.táblázat foglalja össze a levegőbe kijutó poremisszió-tényezőket (a csökkentés után) az oxigénes konverteracélgártás egyes főbb műveleteire/forrásaira vonatkozóan.

	Műveletek/emisszióforrások	<i>Por</i>	
		[g/t LS]	
		n/r	x±s
konvertergáz	teljes elégetés* <sup>2</sup>	13/10-200	66±78
	visszafojtott elégetés füstgáz visszanyerés nélkül* <sup>3</sup>	17/15-190	74±65
	Visszafojtott elégetés füstgáz visszanyeréssel	13/1.5-16	8±4
Nem konverterből származó emissziók	folyékony nyersvas kéntelenítés* <sup>4</sup>	26/1-7	
	foly.nyersvasátöntés* <sup>5</sup>	1-17	
	BOF adagolás, csapolás, lesalakolás, és szek.emisszió fúvatás alatt	1-30	
	Szekunder-metallurgia* <sup>6</sup>	0.1-10	
	Folyamatos öntés* <sup>5</sup>	0.5-4	
	A "nem BOF-emissziók" összege* <sup>7</sup>	20-80	

Megjegyzés: LS = folyékony acél (nyersacél); x±s = a standard eltérés középértéke (csak elegendő adat birtokában kiszámítva); n = adatok száma; r = adatok tartománya (min-max); n.r. = nem meghatározó; n/a = nem áll rendelkezésre

\*1 adatok [WC Study, 1996]-ból, ha nincs más utalás

\*2 három konverter 200 g por/t LS, a visszamaradó <50 g por/t LS értékkel

\*3 három konverter 190 g por/t LS, egy 140 g por/t LS, a visszamaradó <100 g por/t LS értékkel

- \*4 két, nedves mosót vagy elektrosztatikus leválasztót alkalmazó mű túllépte az adott tartományt (15-30 g por/t LS); egyedi adatok nem állanak rendelkezésre
- \*5 egyedi adatok nem állanak rendelkezésre
- \*6 a szekunder metallurgiai műveletek kiterjednek az üstre, üstkemencére, BOF-ra és a többi berendezésre, az adagolást és csapolást is beleértve; öt BOF-mű jelentése szerint 15-20 g por/t LS emissziós tényezői vannak
- \*7 az adatok az [EC Study, 1996]-ból, de korrigálva az [EUROFER BOF, 1997] adataival

8.3.táblázat: Levegőbe jutó poremissziók (csökkentés utáni) emissziós tényezői oxigén konverteracélművekre\*1

A levegőbe jutó emissziók részletes áttekintését a 8.5.táblázat adja.

Komponensek	Fajlagos emissziós érték	Mértékegység
Primér BOF-gázáram		
- Teljes elégetés	2000-3000	Nm <sup>3</sup> /t LS
- Elfojtott elégetés	50-120	"
Szekunder elszívás árama	1300-4800	Nm <sup>3</sup> /t LS
Szilárd szemcse az oxigénfúvásból		
- csökkentés nélkül	15-20	kg/t LS
- primér BOF-gáz porleválasztás után	0.5-200	g/t LS
Szilárd szemcse adagolásból és csapolásból		
- csökkentés nélkül	200-1000	g/t LS
- szek.porleválasztás után	2-60	"
- nem fogta be az ernyő	25-100	"
(Nehéz) fémek		
Al	0.60-0.68	g/t LS
As	0.00-0.02	"
Cd	0.07-0.20	"
Cr	0.00-0.04	"
Cu	0.04	"
Fe	2.8-83	"
Hg	0.0-0.02	"
Mg	1.45-2.40	"
Mn	2.7-60	"
Pb	1.5-2.9	"
Zn	8.2	"
SO <sub>2</sub>	0.4-5.5	g/t LS
NO <sub>x</sub>	5.0-20	"
CO	7.0-16	kg/t LS
Hidrogénfluorid*	0.008-0.01	g/t LS
PAH (Borneff 6)	0.08-0.16	mg/t LS
PCDD/F	<0.001-0.06	µg I-TEQ/t LS

Megjegyzés: LS = (nyers) folyékony acél

\*amennyiben folyópátot (CaF<sub>2</sub>) adagolnak folyósítóként a nyersvas kéntelenítésekor, a fluorid emissziók sokkal nagyobbak lehetnek

8.5.táblázat: Elfojtott elégetéssel működő oxigénes konverter levegőbe jutó fajlagos emissziói a tisztítás után, ha nincs más utalás - az [InfoMil, 1997] nyomán

A konverteres acélgártás szilárd hulladékai/melléktermékei a 8.6. táblázatban vannak összefoglalva.

Szilárd hulladék/melléktermék	Fajlagos mennyiség (tartomány) kg/t LS
Kéntelenítő salak	2 - 25
BOF salak	100-130
Kidobódások	4 - 10
Durva porok és iszapok a BOF-gáz kezelésből	3 - 12
Finom porok és iszapok a BOF-gáz kezelésből	9 - 15
Por a szekunder porleválasztásból	0.2 - 3
Salak a szekunder-metallurgiából	2 - 16
Salak a folyamatos öntésből	4 - 5
Reve a folyamatos öntésből	1.2 - 6
Bontási törmelék	0.8 - 6

Megjegyzés: LS = folyékony acél

8.6.táblázat: Az oxigénes konverteracélgártásból származó szilárd maradékok/melléktermékek jellege és fajlagos mennyisége - az [EUROFER BOF, 1997; Rentz, 1996] nyomán

Az oxigénes konverteracélgártás szilárd maradékainak zömét a salak adja. A konvertersalak kémiai összetételét a 8.8.táblázat foglalja össze.

Megnevezés	LD/AC	LD	AOD
CaO	50.0	50.0	53.0
SiO <sub>2</sub>	9.0	15.0	28.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<2	<2	3.0
MgO	<3	<3	5.0
Összes Fe	12.0	16.0	<2
Fémes Fe	<1	<1	<1
MnO	2.0	<4	<1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	15.0	<2	<0.5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<1	<1	<2
Szabad CaO	<7	<10	<5
S	-	-	<1
CaO/SiO <sub>2</sub>	4	2.5	1.8

Megjegyzés: LD/AC = Linz-Donawitz/Arbed-CRM eljárás;

LD = Linz-Donawitz eljárás;

AOD = Argon - Oxigén - Dekarbonizálás

8.8. táblázat: Konvertersalakok kémiai összetétele tömegszázalékban - [Geiseler, 1991]

A konverteracélgártásból származó salakok, porok és iszapok felhasználásának szerkezetét a 8.A.táblázat mutatja be.

Szilárd hulladék/melléktermék	F e l h a s z n á l á s , %			
	Műben reciklálva	Külső felhasználásra	Eladva	Talajfeltöltésre
Salak a nyersvas kéntelenítésből	37	1	21	41
BOF salak	28	26	20	26
Por a száraz BOF gáztisztításból	55	33	0.3	12
Iszap a nedves BOF gáztisztításból	51	7		42

8.A.táblázat: Az oxigénes konverteracélgyártásból származó szilárd hulladékok/melléktermékek felhasználásának szerkezete az EU-ban - [EC Study, 1996]

### 8.3 A BAT meghatározásához figyelembeveendő technikák

Az elérhető legjobb technikák az alábbiak:

A folyamatba épített eljárások:

- energiavisszanyerés a BOF-gázból,
- a hulladék cinktartalmának csökkentése,
- fúvatás alatti acélpróbavétel és elemzés.

A technológiai lánc végén alkalmazott technikák:

- primér porleválasztás,
- szilárd szemcse-csökkentés a nyersvaselőkezelésből,
- szekunder porleválasztás,
- por meleg brikettálása és reciklálása,
- a nedves porleválasztóból származó szennyvíz tisztítása és
- a folyamatos öntőműről származó szennyvíz tisztítása.

Alapjában véve két módszert lehet alkalmazni a *konverter(BOF)-gáz energiavisszanyerésére*:

1. A BOF-gáz elégetését a gázvezetékben és azt követően az érzékelhető hő visszanyerését füstgázkazánban. Az összes energiakihozatal 10-30%-át (0.1-0.3 GJ/t LS) lehet visszanyerni a füstgázkazánban.
2. A BOF-gáz elégetésének elfojtását és a gáztartályokban tárolását a későbbi felhasználása céljából. Ilyenkor további 50-90%-ot lehet visszanyerni kémiai energiaként.

Az összes energiavisszanyerés az elfojtott elégetés, a BOF-gáz visszanyerés és az érzékelhető hő füstgázkazánban történő visszanyerése révén akár 90%-ot is elérheti.[Arimitsu, 1995; Joksch, 1995].

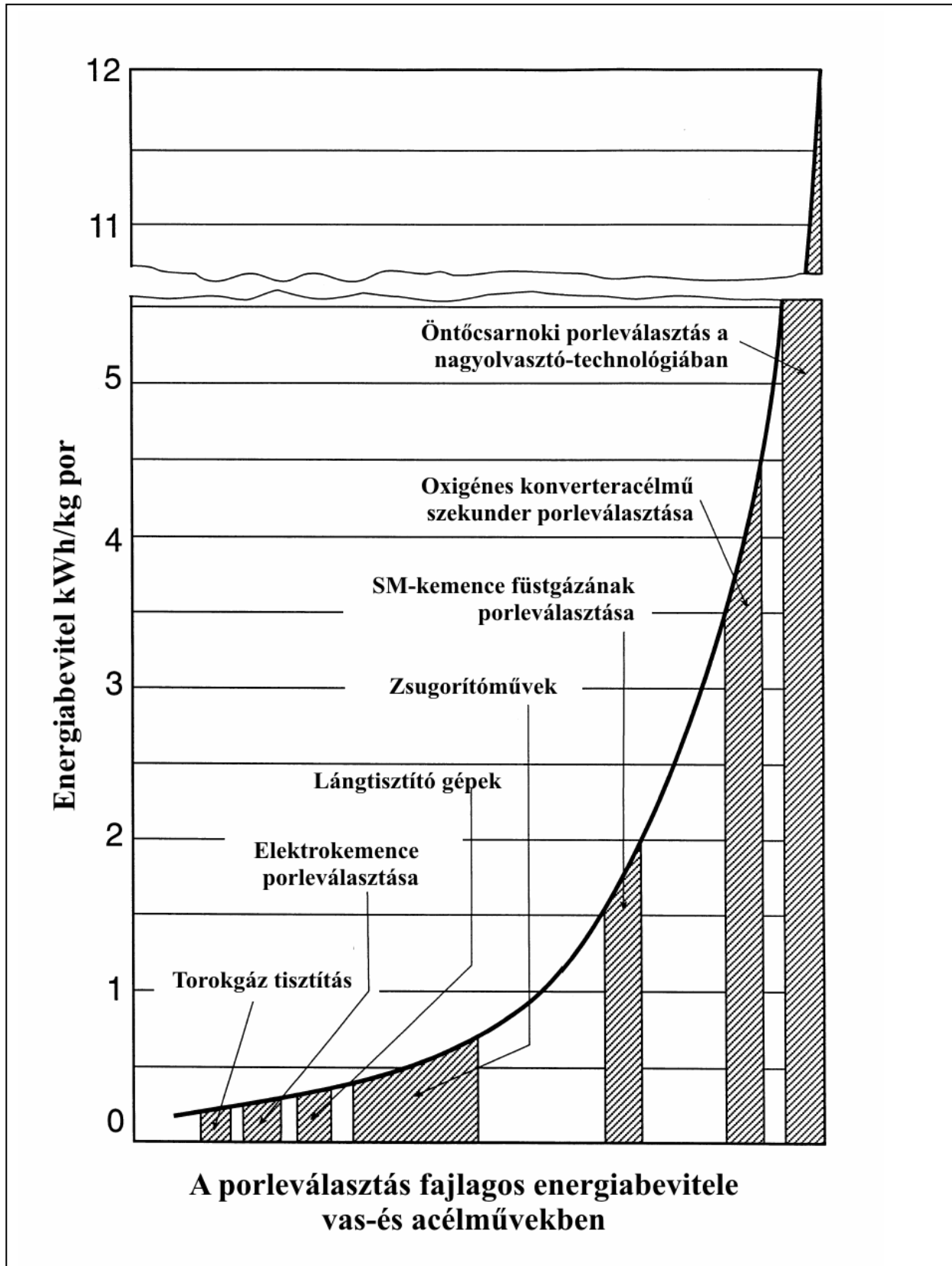
Az elfojtott elégető rendszer becsült beruházási költsége 5 - 25 Ecu<sub>1996</sub>/GJ. A megtérülési idő akár egy év is lehet.

A primer porleválasztás beruházása 24 - 40 MEcu<sub>1996</sub> egy 1 mt/a termelésű acélműre. Az üzemköltség 2 - 4 Ecu<sub>1996</sub>/t LS.



A szilárd szemcsecsökkentés a nyersvaskéntelenítónél kb.10 MEcu1996-be kerül.

A szekunder füstgázok porleválasztásához szükséges fajlagos energia a 8.23.ábrán látható.



8.23.ábra. Fajlagos energiabevitel a porleválasztó műveletekhez az integrált acélművekben - [Phillip, 1987]

#### 8.4 Következtetések

1. A szilárd szemcsés frakció csökkentése a folyékony nyersvas kezelése során (beleértve a nyersvas szállítását, kéntelenítését és lesalakolását) az alábbiak segítségével:

- hatékony gázelszívás,
- ezt követő tisztítás zsákszűrővel vagy elektrosztatikus porleválasztóval (ESP).
- 5-15 mg/Nm<sup>3</sup> emisszió-koncentráció érhető el zsákszűrővel és 20-30 mg/Nm<sup>3</sup> ESP-vel.

2. BOF-gáz visszanyerés és primer porleválasztás, az alábbiak alkalmazásával:

- elfojtott elégetés és
- száraz elektrosztatikus porleválasztás (új és meglevő üzemekben) vagy
- gázmosás (meglevő üzemekben).

Az összegyűjtött konvertergázt tisztítják és tárolják fűtőanyagként való felhasználás céljából. Bizonyos esetekben nem lehet gazdaságos vagy megfelelő energiagazdálkodás szempontjából nem kivitelezhető a BOF-gáz újrahasznosítása. Ezekben az esetekben a konvertergázt gőzfejlesztés céljából égetik el. Az elégetés jellege (teljes elégetés vagy elfojtott elégetés) a helyi energiagazdálkodástól függ.

Az összegyűjtött porokat és/vagy iszapokat a lehető legnagyobb mértékben reciklálni kell. Tekintettel kell lenni a por/iszap nagy cinktartalmára. Különös figyelmet kell szentelni a lándzsafűvőkákból származó szilárd részecskékre. Ezeket a nyílásokat az oxigénfűvítés alatt le kell fedni és ha szükséges, semleges gázt kell befűvteni a nyílásokon át a szilárd szemcsék szétosztatására.

3. Szekunder porleválasztás az alábbiak alkalmazásával:

Hatékony elszívás az adagolás és a csapolás alatt és ezt követően gáztisztítás zsákszűrővel vagy elektrosztatikus porleválasztóval, esetleg más, hasonló hatékonyságú technikákkal. A porleválasztás elérhető hatékonysága 90% körüli. Az elérhető visszamaradó portartalom 5 - 15 mg/Nm<sup>3</sup> zsákszűrők esetében és 20 - 30 mg/Nm<sup>3</sup> az elektrosztatikus szűrők használatakor. Figyelemmel kell lenni a por általában nagy cinktartalmára.

Hatékony elszívás a folyékony nyersvas átöntésekor, lesalakolásakor és a szekundermetallurgia alatt és az azt követő porleválasztás zsákszűrővel vagy más, hasonló hatékonyságú technikákkal. Ezekkel a műveletekkel min.5 g/t LS emissziós tényezőket lehet elérni.

Füst visszaszorítás semleges gázzal a folyékony nyersvas átöntésekor a füst/porképződés minimalizálása céljából.

4. A BOF-gáz primér nedves tisztításából származó, vízbe jutó emissziók csökkentése az alábbi intézkedésekkel:

- amennyiben a hely megengedi, száraz BOF-gáztisztítás,
- a mosóvíz lehető legnagyobb mértékű visszaforgatása,
- a szuszpendált szilárd részecskék koaguláltatása és üleptése; 20 mg/l szuszpendált szilárd anyag-szint érhető el.

5. A folyamatos öntőgép közvetlen hűtéséből a vízbe jutó emissziók csökkentése az alábbiakkal:

- a folyamat-és hűtővíz lehető legnagyobb mértékű reciklálása,
- a szuszpendált szilárd anyag koagulálása és üleptése,
- az olaj eltávolítása olajlehuzó tartályokkal vagy más hatékony eszközzel.

#### 6. A szilárd hulladék minimalizálása.

A szilárd hulladék képződésével kapcsolatban a következő technikákat tekintik BAT-nak, csökkenő prioritási sorrendben:

- a hulladékképződés minimalizálása,
- a szilárd hulladékok/melléktermékek hatékony felhasználása; különösen a BOF-salak és a BOF-gáztisztításból származó durva és finom por visszaforgatása,
- az elkerülhetetlen hulladékok ellenőrzött tárolása.

Elvben az 1 - 6. pontokban felsorolt technikák mind az új, mind a meglévő berendezésekhez felhasználhatók (amennyiben nincsen kontraindikáció, és az említett előfeltételek megvannak).

### 8.5 A hazai helyzet

Hazánkban a dunaújvárosi DUNAFERR Rt működtet oxigénes konverteracélművet. A fajlagos emissziókat erre a területre vonatkozóan, a Magyar Vas-és Acélipari Egyesülés Műszaki Fejlesztési Irodájában, folyó év szeptemberében kidolgozott előterjesztés alapján a 8.B. táblázat foglalja össze.

Megnevezés	Mérték-	EU-felmérés	Magyar fajlagos	
		egység adatai szennyezések 2001-ben		
		Légszennyezés	g/t foly.acél	
Por		g/t	15 - 80	144
Cr		g/t	0.01 - 0.36	n.a.
Cu		g/t	0.01 - 0.04	n.a.
Pb		g/t	0.13 - 0.9	n.a.
Zn		g/t	-	n.a.
Mn		g/t	0.01 - 1.2	n.a.
NO <sub>x</sub>		g/t	5 - 20	18
CO		g/t	1500-7960*	5249
CO <sub>2</sub>		kg/t	11.2 - 140**	n.a.
PCDD/F		µg I-TEQ/t	0.001-0.06	n.a.
PAH		mg/t	0.08 - 0.16	n.a.
Hulladékok/melléktermékek kg/t foly.acél				
Kéntelenítő salak		kg/t	2.2 - 19.2	n.a.
Konvertersalak		kg/t	85 - 110	86
Szekundersalak		kg/t	2 - 16	7
Konverterpor, iszap		kg/t	1.5 - 7	10
Fröccsenések		kg/t	4 - 5	n.a.
FAM salak		kg/t	4 - 5	n.a.
FAM reve		kg/t	1.2 - 6	2.9
Falazathulladék		kg/t	0.8 - 5	n.a.
Szennyvíz		m <sup>3</sup> /t	-	n.a.

4 EU ország konverteracélműveinek adatai alapján

\* a kisebb érték a konvertergáz elégetése esetén érvényes

\*\* a nagyobb érték a konvertergáz elégetése esetén érvényes

n.a. nincs adat

8.B.táblázat: Hazánk konverteracélgártására jellemző emissziós értékek 2001-ben

### 8.6 Kialakuló technikák és jövőbeni fejlesztések

A következő technikákat tekinthetjük kialakuló eljárásoknak:

- Végmérethez közeli alakra öntés és horizontális öntés.
- Zn-dús iszapok/porok feldolgozása.
- Új reagensek a kéntelenítéshez.
- Habosító technikák alkalmazása a nyersvas előkezeléséhez és az acél kikészítéséhez.
- A folyékony fém feletti levegő helyettesítése semleges gázokkal (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)

Ezen eljárások közül a legnagyobb aktivitás a *Zn-dús iszapok/porok feldolgozásával* kapcsolatos.

A következő módszerek alkalmazhatók:

- Forgófenekű kemence-eljárás (Inmetco);
- Fluidágyas eljárás (Thyssen);
- Cirkuláló fluidágyas reaktor;
- Nagyturbulenciájú keverő eljárás;
- Plazma eljárás (Siromelt, Plasmelt);
- Többcélú oxigénes kupoló kemence.

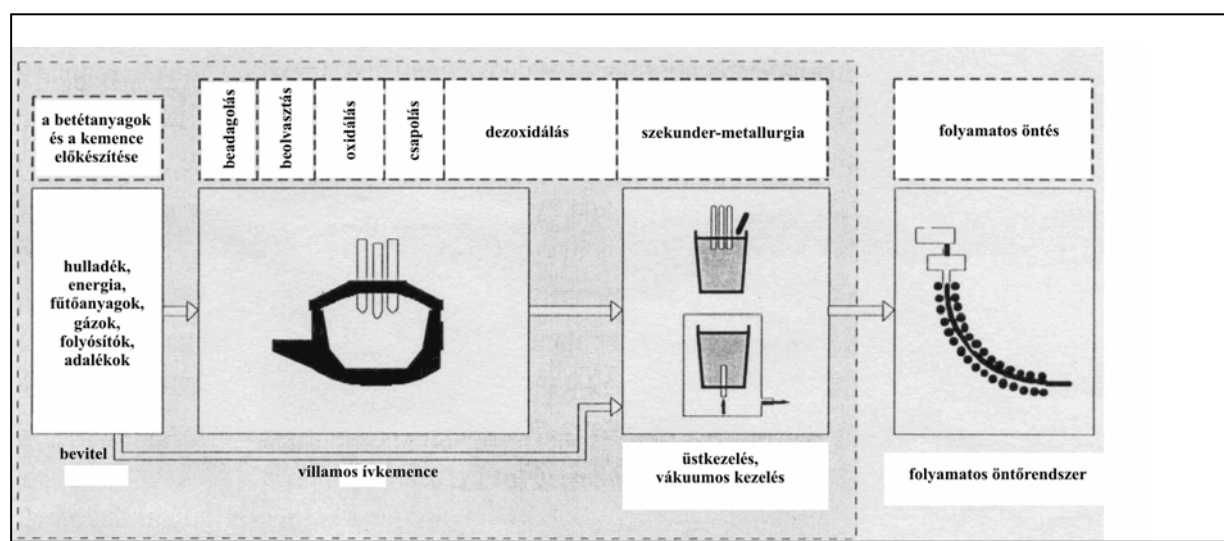
## 9 Elektroacélgártás és öntés

### 9.1 Alkalmazott eljárások és technikák

A vastartalmú anyagoknak, főleg a hulladékoknak ("ócskavasnak") közvetlen megolvasztása általában a villamos ívkemencékben (EAF) történik, amelyek egyre nagyobb szerepet töltenek be a korszerű acélművi koncepciókban. Az EU-ban az összes acéltermelés 35.3%-a elektroacél [Stat. Stahl, 1997].

Direkt redukált vasat (DRI) is egyre nagyobb mértékben használnak betétként az elektrokemencékben.

Az elektroacélgártás folyamatát a 9.3.ábra mutatja be.



9.3.ábra: Az elektroacélgártás folyamatának vázlatos áttekintése - [D Rentz, 1997]

A végtermékek vonatkozásában különbséget kell tenni a kereskedelmi, úgynevezett karbonacélok, valamint a gyengén ötvözött és az erősen ötvözött/rozsdálló acélok között. Az EU-ban az összes acéltermelésnek kb. 85%-a karbon-vagy gyengén ötvözött acél [EC Study, 1996].

Az utóbbi években egyre gyakrabban alkalmaznak az elektroacélművekben hulladékélelőmelegítést. Ehhez általában a kemencegázokat használják fel energiavisszanyerés céljából. Manapság az aknás technológia és a Consteel eljárás honosodott meg a gyakorlatban [Haissig, 1997]. 1998 októberében több mint 20 aknás kemence működött, ebből 8 Európában.

A hulladékélelőmelegítés aromás halogén szénvegyületek, pl. poliklór dibenzo-p-dioxinok és -furánok (PCDD/F), klórbenzolok, poliklór-bifenilek (PCB), valamint policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) és a hulladék festék-, műanyag-, kenőanyag vagy egyéb szerves szennyezésének részleges elégéséből származó égéstermékek nagyobb emissziójához vezethet. Ezek képződését csökkenteni lehet a kemencén belüli, oxigénégők segítségével megvalósított utóégetésével.

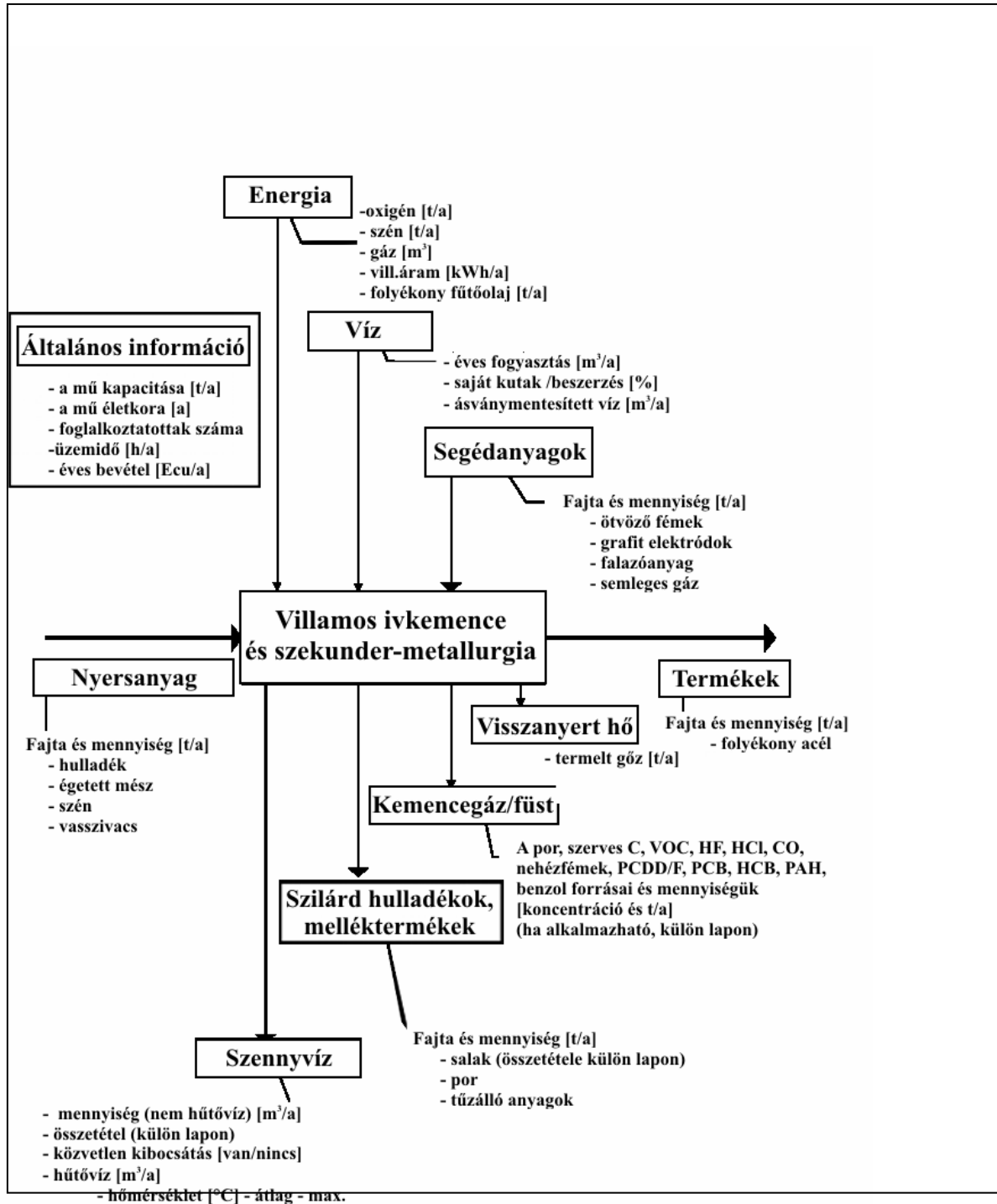
Az elektroacélgártás az alábbi technológiai lépésekből áll:

- betét beadagolása,
- beolvasztás és kikészítés,
- acél és salak csapolása,

- szekunder metallurgia,
- az acél folyamatos leöntése.

## 9.2 Jelenlegi felhasználási és emissziós szintek

A villamos ívkemence tömegárama a 9.5.ábrán látható.



9.5.ábra:A villamos ívkemence tömegáramának áttekintése

Ennek alapján ki lehet számítani a fajlagos beviteli és kihozatali tényezőket. Ilyeneket mutat be a 9.1.táblázat.

Bevitel	Kihozatal			
Nyersanyagok	Termékek			
hulladék kg/t	1080 - 1130	foly.acél(LS)	kg	1000.00
égetett mész	kg/t	30 - 80	<i>Emissziók</i> <sup>*3</sup>	
szén kg/t	13 - 15	por	g/t	1-780 <sup>*4</sup>
grafit elektród	kg/t	1.5-4.5	Hg	mg/t 6-4470 <sup>*5</sup>
bélés kg/t	1.9-25.1	Pb	mg/t	16-3600 <sup>*6</sup>
foly.nyersvas <sup>*1</sup>	kg/t		Cr	mg/t 8-2500 <sup>*7</sup>
DRI <sup>*2</sup> kg/t		Ni	mg/t	1-1400 <sup>*8</sup>
nyersvas <sup>*2</sup>	kg/t		Zn	mg/t 280-45600 <sup>*9</sup>
		Cd	mg/t	<1-72 <sup>*10</sup>
		Cu	mg/t	<1-460 <sup>*11</sup>
<i>Energia</i>		HF	mg/t	<700-4000 <sup>*12</sup>
összes energia	MJ/t	2300-2700	HCL	mg/t 800-9600 <sup>*12</sup>
villamos áram	MJ/t	1250-1800	SO <sub>2</sub>	g/t 24-130 <sup>*12</sup>
oxigén m <sup>3</sup> /t	24-47	NO <sub>x</sub>	g/t	120-240 <sup>*13</sup>
		CO	g/t	740-3900 <sup>*12</sup>
Víz	zárt hűtőlánc	TOC	g C/t	16-130 <sup>*14</sup>
		benzol	mg/t	170-4400 <sup>*12,15</sup>
		klórbenzol	mg/t	3-37 <sup>*16</sup>
		PAH <sup>*17</sup>	mg/t	3.5-71 <sup>*18</sup>
		PCB <sup>*19</sup>	mg/t	1.5-45 <sup>*20</sup>
		PCDD/F	µg I-TEQ	0.07-9 <sup>*21</sup>
		Szil.hull/mellékterm.		
		kemencesalak	kg/t	100-150
		üstsalak	kg/t	10-30
		porok	kg/t	10-20
		tűzálló falazat	kg/t	2-8
		Zaj	dB(A)	90-125

Megjegyzés: LS = folyékony acél

\*1 folyékony nyersvasat csak különleges esetekben használnak (kb.275 kg/t LS), ha kevés a hulladék

\*2 DRI-t (direkt redukált vasat) és nyersvasat csak különleges esetekben használnak

- \*3 ha csak koncentrációk állnak rendelkezésre, az emissziós tényezők  $8000 \text{ Nm}^3/\text{t LS}$ -sel vannak kiszámítva [TWG, 1998]; a gyakorlatban a fajlagos áram  $6000$  és  $16000 \text{ Nm}^3/\text{t LS}$  között jelentősen szórhat, amit figyelembe kell venni
- \*4 az [EC Study, 1996] alapján az átlagos érték és a standard eltérés a poremissziókra (primer és szekunder) 38 műre  $124 \pm 166 \text{ g/t LS}$ ; jól méretezett zsákszűrőkkel dolgozó művek  $<20 \text{ g por/t LS}$  emissziós tényezőket érhetnek el [Theobald, 1995; UBA-BSW, 1996]
- \*5 a Hg-emisszió erősen szórhat adagról adagra, az adatok [Theobald, 1995; UBA-BSW, 1996] alapján négy német műre (az átlag  $370 \text{ Hg mg/t LS}$ ); egy dán műre [DK EAF, 1997] (az átlag  $15 \text{ mg Hg/t LS}$ ); az adatok [Lindblad, 1998] nyomán (16 mérés 1994-1996 között  $6 \text{ mg Hg/t LS}$  átlaggal)
- \*6 adatok 4 német műből [Theobald, 1995; UBA-BSW, 1996] (átlag  $450 \text{ mg Pb/t LS}$ ); egy dán mű adatai [DK EAF, 1997] (átlag  $700 \text{ mg Pb/t LS}$ )
- \*7 adatok 4 német műből [Theobald, 1995; UBA-BSW, 1996] (átlag  $400 \text{ mg Cr/t LS}$ )
- \*8 adatok 4 német műből [Theobald, 1995; UBA-BSW, 1996] (átlag  $140 \text{ mg Ni/t LS}$ ); adatok egy dán műből [DK EAF, 1997] (átlag:  $280 \text{ mg Ni/t LS}$ )
- \*9 adatok 4 német műből [Theobald, 1995; UBA-BSW, 1996] (átlag  $11400 \text{ mg Zn/t LS}$ ); adatok egy dán műből [DK EAF, 1997] (átlag:  $5550 \text{ mg Zn/t LS}$ )
- \*10 adatok [Theobald, 1995] alapján:  $<1-72 \text{ mg Cd/t LS}$  (átlag:  $16 \text{ mg Cd/t LS}$ ); adatok [UBA-BSW, 1996]-ból: 8 mérés  $4-37 \text{ mg Cd/t LS}$  között (átlag  $25 \text{ mg Cd/t LS}$ , egy kiugró értéket ( $180 \text{ mg Cd/t LS}$ ) nem vettek figyelembe; adatok egy dán műből [DK EAF, 1997] (átlag:  $40 \text{ mg Cd/t LS}$ )
- \*11 4 mű átlaga  $80 \text{ mg Cu/t LS}$  [Theobald, 1995]
- \*12 adatok 1 német műből (9 mérés) [UBA-BSW, 1996]
- \*13 adatok 1 német műből (9 mérés) [UBA-BSW, 1996]; adatok Svédországból [Lindblad, 1998] több elektrokemencéből (17 mérés 1985-1993 között):  $22-680 \text{ g NO}_2/\text{t LS}$
- \*14 TOC=összes szerves karbon; adatok [Werner, 1997; Theobald, 1995]-ből
- \*15 9 mérés (átlag:  $1920 \text{ mg benzol/t LS}$ )
- \*16 adatok [Lindblad, 1992] alapján: 20 mérés 9 műből (átlag:  $22 \text{ mg/t LS}$ ) összes klórbenzollal, kivéve a monoklórbenzolt
- \*17 az EPA 16 összege
- \*18 adatok [Werner, 1997]-től: 9 mérés  $3.5-71 \text{ mg PAH/t}$  között (átlag:  $35 \text{ mg PAH/t LS}$ ); adatok [Lindblad, 1992]-től: 13 mérés 7 műből (értékek:  $8/23/84/120/180/240/920 \text{ mg PAH/t LS}$ )
- \*19 PCB összes PCB-ként, (summaPCB  $28+52+101+153+138+180$ )x 5-ből számítva [UN-ECE, 1997] nyomán)
- \*20 adatok [UBA-BSW, 1996]-ból: 9 mérés  $1.5-16 \text{ mg PCB/t LS}$  (átlag:  $7.8 \text{ mg PCB/t LS}$ ); adatok [Werner, 1997]-től: 9 mérés  $2-45 \text{ mg PCB/t LS}$  között (átlag  $17 \text{ mg PCB/t LS}$ )
- \*21 adatok 8 svéd műből:  $0.2-9 \mu\text{g I-TEQ/t}$ ,  $4 \mu\text{g I-TEQ/t LS}$  átlaggal [Lindblad, 1992]; adatok 4 német műből:  $0.07-1.8 \mu\text{g I-TEQ/t LS}$  [Theobald, 1995]; adatok [LUA NRW, 1997]:  $0.3-5.7 \mu\text{g I-TEQ/t LS}$ ; adatok egy dán elektroacélműből  $1.7 \mu\text{g I-TEQ/t LS}$  átlaggal [EC EAF, 1997]



9.1.táblázat: Beviteli/kihozatali adatok karbonacélt gyártó villamos ívkemencékre vonatkozóan, a lábjegyzetekben megjelölt különböző referenciák alapján

Az elektroacélművekben az alábbi füstgáz-emissziókkal, szilárd hulladékokkal/melléktermékekkel, szennyvízzel és zajemissziókkal találkozunk:

- füstgázemissziók
- primer füstgázok
- közvetlenül a kemencétől összegyűjtött füstgáz
- közvetlenül a szekunder-metallurgiai folyamatokból összegyűjtött füstgázok
- szekunder füstgázok a hulladék szállításából és adagolásából, az acél csapolásából, a szekunder-metallurgiai csapolásból és a folyamatos öntésből
- füst a salak kezeléséből

szilárd hulladékok/melléktermékek

- salakok a karbon-, gyengén ötvözött/erősen ötvözött acélok gyártásából
- porok a füstgázok tisztításából
- tűzállótéglák

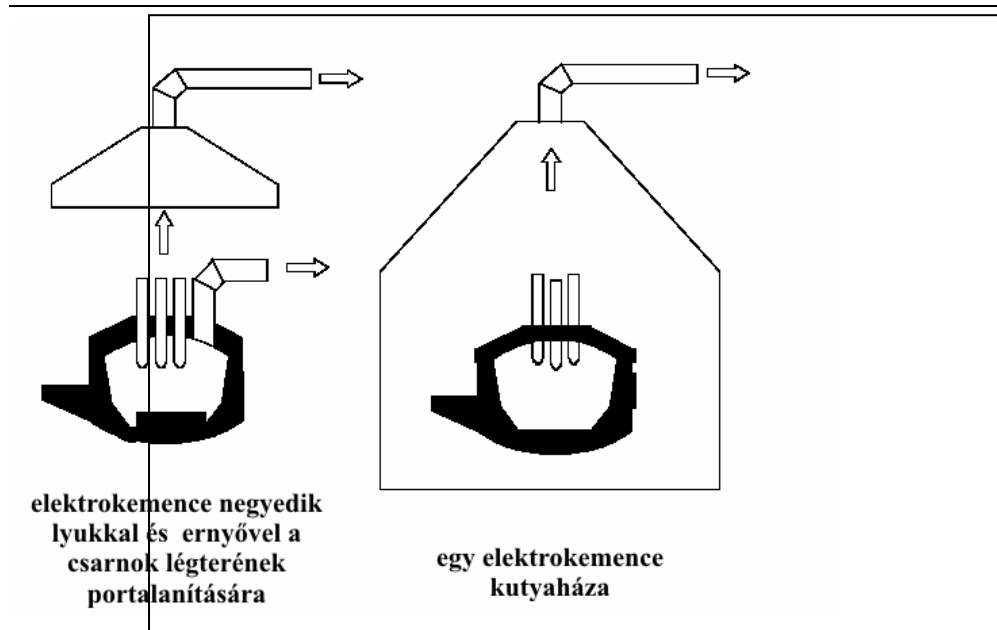
szennyvízemissziók az alábbiakból:

- a hulladéktérről származó csapadékvíz
- füstgázmosás
- folyamatos öntés

talajszennyezés

zajemissziók.

A primer füstgázok (kemencegázok) megközelítően 95%-át teszik ki az elektroacélmű összes emisszióinak [EC EAF, 1994]. Az alkalmazott elszívó rendszereket mutatja be a 9.6.ábra.



9.6.ábra: Az elektrokemence (EAF) porgyűjtő rendszere - [D Rentz, 1997] alapján

Az EU-ban működő 67 elektrokemence 53%-ában van negyedik tetőlyuk és csarnoktér-elszívás, 31%-ában csupán negyedik tetőlyuk, 13%-ában negyedik tetőlyuk és kutyaház és 3%-ában csak kutyaház.

A karbon- és gyengén ötvözött, valamint erősen ötvözött elektroacélok salakjainak kémiai összetételét a 9.4.táblázat tekinti át.

Megnevezés	Karbon-/gyengén ötvözött acél		Erősen ötvözött acél	
	Kemencesalak %	Üstsalak %	Kemencesalak <sup>*2</sup> %	
Fe <sub>össz</sub>	10 - 32	<2 - 5	<2	
CaO	25 - 45	30 - 50	45	
CaO <sub>szabad</sub>	<4	<10	<10	
SiO <sub>2</sub>	10 - 18	10 - 20	30	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 - 8	3 - 12	5	
MgO	4 - 13	7 - 18	7	
MnO	4 - 12	<1 - 5	2	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1 - 2	<0.5	3	
TiO <sub>2</sub>	0.3	n/a	n/a	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01 - 0.6	n/a	n/a	
Na <sub>2</sub> O	0.46 <sup>*1</sup>	n/a	n/a	
K <sub>2</sub> O	0.11 <sup>*1</sup>	n/a	n/a	
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11 - 0.25	n/a	n/a	
ZnO	0.02 <sup>*1</sup>	n/a	n/a	
CuO	0.03 <sup>*1</sup>	n/a	n/a	
NiO	0.01 - 0.4	n/a	n/a	
S	0.02 <sup>*1</sup>	n/a	n/a	
C	0.33 <sup>*1</sup>	n/a	n/a	

\*1csak egy műből vannak adatok; \*2adat csak egy műből; n/a = nincs adat

9.4.táblázat: Karbon-és gyengén ötvözött elektroacél salakjainak kémiai összetétele - [Geiseler, 1991; Plöckinger, 1979; D Rentz, 1997; Heinen, 1997] nyomán

Az EU elektroacélműveiben keletkező salakok mennyiségéről és felhasználásáról a 9.5.táblázat ad tájékoztatást.

Acélfajta	Összes salakmenny. kt/a	Művi Reciklálás		Külső felhasználás		Eladva más cégnek		Talajfeltöltésre és tárolásra	
		kt/a	%	kt/a	%	kt/a	%	kt/a	%
Karbonacélok	1796	45.1	2.5	494.8	27.6	13.7	0.8	1242	69.2
Gyengén ötv.	444	-	-	61.6	13.9	108.0	24.4	261	58.9
Erősen ötv.ac.	461	81.4	17.7	68.0	14.8	160.0	34.7	156	33.9
Összesen	2700	126.5	4.7	624.4	23.1	281.7	10.4	1659	61.4

9.5.táblázat: Az elektroacélgártás salakjainak felhasználása az EU-ban; az adatok 57 műből származnak, salaktermelésük 2.7 Mt/a(133 kg/t LS) - [EC Study, 1996]

Az EU 67 művében összegyűjtött primer és szekunder gázokból a gáztisztítással nyert por 64%-át irányították talajfeltöltésre, 24%-át külső felhasználásra, 5%-át tárolták és 4%-át reciklázták [EC Study, 1996].

A 9.7.táblázat a EAF-filterporok Zn-tartalmának visszanyerési arányáról ad tájékoztatást az EU területére vonatkozóan.

Államok	Összes por-Mennyiség t/a	A Waelz-eljárással kezelt mennyiség t/a	Százalék %	A visszamaradó por felhasználása
Ausztria és Svájc	30000	25000	83	talajfeltöltés
Benelux	65000	55000	85	talajfeltöltés
Dánia	12000		100	-
Franciaország	90000	30000	33	talajfeltöltés
Németország	150000	105000	70	talajfeltöltés, bányatömedékelés
Olaszország	180000	80000	44	talajfeltöltés és reciklás
Skandinávia	30000	10000	33	talajfeltöltés és tárolás a jövőbeni reciklásra
Spanyolo. és Portugália	120000	25000	20	talajfeltöltés
UK	65000	0	0	talajfeltöltés
Összesen	730000	330000	45	

9.7.táblázat: A cink visszanyerő Waelz-eljárással kezelt EAF-szűrőpor (karbon-és gyengén ötvözött acéltermelésből) aránya és felhasználása 1997-ben az EU tagállamaiban - [Hoffmann, 1997]

A *zajemisszió* a hagyományos ívkemencénél átlagosan (olvasztás és kikészítés).  $L_{WA} = 118-133$  dB(A) a >10 t-s kemencékre és  $L_{WA} = 108-115$  dB(A) a <10 t-s kemencékre. A fajlagos transzformátorkapacitás határozza meg a zajemisszió szintjét. Ez elérheti az  $L_{WA} = 127$  dB(A) szintet is.

### 9.3 A BAT meghatározásakor figyelembe veendő technikák

A folyamatba integrált intézkedések:

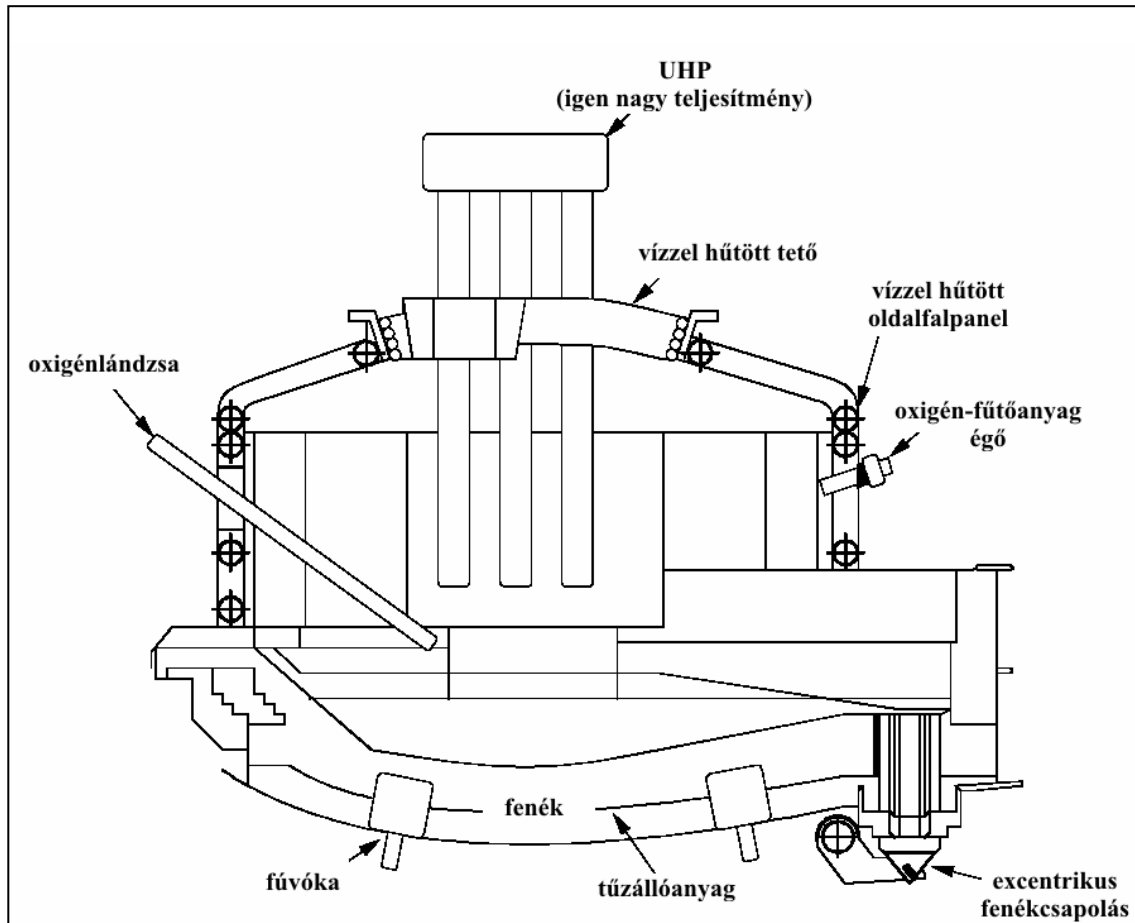
- EAF-folyamatoptimalizáció,
- hulladékélelőmelegítés,
- zártláncú vízhűtő rendszer.

A technológiai lánc végén alkalmazott technikák:

- korszerűsített emisszió-gyűjtő rendszerek,
- hatékony utóégetés fejlett füstgáztisztítással kombinálva,
- lignitkorsz-por befűtatása füstgázkezelésre,

- elektrokemence -salak reciklálása és
- elektrokemence -por reciklálása.

Az *elektroacélgártás folyamatának optimalizálása* során egyre növelik a teljesítményt és csökkentik a fajlagos energiafogyasztást. Néhány fontosabb technikát foglal össze a 9.14. ábra



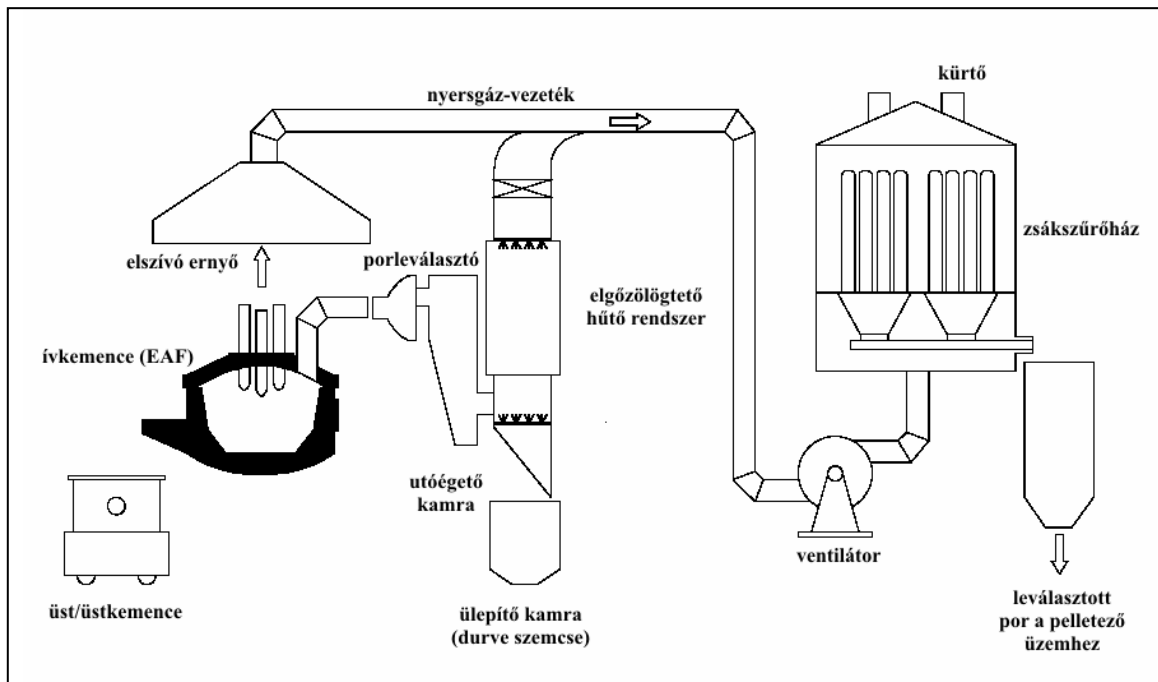
9.14. ábra: A villamos ívkemence (EAF) vázlatos képe és utalások az optimalizáló módszerekre - [D Rentz, 1996]

Az optimalizálás főbb módszerei az alábbiak:

- UHP (igen nagy teljesítményű) kemence-technológia,
- vízzel hűtött oldalfalak és tető,
- oxigén-fűtőanyag égők és oxigénes fűvadás,
- fenékcsapoló rendszer,
- habos salak-gyakorlat,
- üst- vagy szekunder-metallurgia és
- automatizálás.

A *hulladékélelőmelegítés* a füst(kemence)gázokat használja fel fűtőanyagként. A korszerű megoldás az aknás kemence-módszer, amely a hulladéknak legalább 50%-át melegítheti elő, míg a reteszes aknás megoldás a teljes hulladékmennyiség előmelegítését teszi lehetővé [Voss-Spilker, 1996].

A füst(kemence)gázok hatékony utóégetése és korszerű tisztítása vázlatosan a 9.18. ábrán látható.



9.18.ábra: A primer füst(kemence)gáz utóégetése az ívkemencéhez kapcsolódó vezetékrendszerben és az ezt követő gyors hűtése - [D-Rentz, 1997]

## 9.4 Következtetések

Az elektroacélgyártáshoz és a folyamatos öntéshez az alábbi technikák tekinthetők BAT-nak:

1. Hatékony porösszegyűjtés
  - közvetlen kemencegáz elszívás (a negyedik vagy második tetőlyukon) és ernyőrendszerek *vagy*
  - kutyaház és ernyőrendszer *vagy*
  - teljes csarnokelszívás.

Az elektrokemencéből származó primer és szekunder emissziók legalább 98%-os összegyűjtési hatékonysága érhető el.
2. Füstgázpor-leválasztás az alábbiak alkalmazásával:
  - jól méretezett zsákszűrő az új üzemek számára, amely kevesebb, mint 5 mg por/Nm<sup>3</sup> emissziót tesz elérhetővé és kevesebb, mint 15 mg por/Nm<sup>3</sup> emissziót a meglévő üzemekben, mindkét értéket napi középértékként meghatározva.
  - A portartalom csökkentése egyben a nehézfém-emissziók csökkentését is jelenti, kivéve a gázfázisban jelenlevő nehézfémeket, mint pl. a higanyt.
3. A szerves klórvegyületek, különösen a PCDD/F és PCB emissziók csökkentése az alábbiakkal:
  - megfelelő utóégetés a füstgázvezeték-rendszerben vagy külön utóégető kamrában és ezt követő gyors hűtés az újabb vegyületképződés megelőzésére *és/vagy*
  - lignitpor befűvatása a vezetékbe a zsákszűrő előtt 0.1 - 0.5 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup> emisszió-koncentráció érhető el a PCDD/F-re.
4. Hulladék-előmelegítés (3.-mal kombinálva) a primer kemencegáz érzékelhető hőjének visszanyerése céljából:
  - a hulladék egy részének előmelegítésével kb. 60 kWh/t takarítható meg, a teljes hulladékmennyiség előmelegítése esetében pedig akár 100 kWh/t folyékony acél is megtakarítható. A hulladék-előmelegítés alkalmazhatósága a helyi körülményektől függ és a helyszínen kell vizsgálat tárgyává tenni. A hulladék-előmelegítés alkalmazásakor figyelemmel kell lenni a szerves emissziók növekedésének lehetőségére.
5. Szilárd hulladékok/melléktermékek minimalizálása. A szilárd hulladékokra vonatkozóan a következő technikák tekinthetők BAT-nak csökkenő prioritási sorrendben:
  - a hulladék-képződés minimalizálása.
  - hulladék minimalizálása az elektroacélgyártás salakjának és szűrőporának reciklálásával; a helyi körülményektől függően a szűrőport a cinktartalom 30%-ra dúsulásáig lehet reciklálni; 20%-ot meghaladó cinktartalmú szűrőport a színesfémiparban lehet felhasználni.
  - az erősen ötvözött acélok gyártásából származó szűrőporokat az ötvözők visszanyerése céljából lehet kezelni.
  - az el nem kerülhető vagy nem reciklálható szilárd hulladék képződő mennyiségét minimálisra kell csökkenteni. Ha akadályokba ütközik a minimalizálás/újrahasznosítás, az ellenőrzött tárolás az egyetlen lehetőség.
6. Vízbe jutó emissziók:

- zártláncú vízhűtő rendszer a kemenceszerelvények hűtésére.
- szennyvíz a folyamatos öntéstől:
- a hűtővíz lehető legnagyobb mértékű reciklálása.
- a szuszpendált szilárd részecskék ülepitése.
- az olaj eltávolítása lehúzó tartályba vagy más hatékony eszközbe.

Az 1 - 6. pontokban felsorolt módszerek elvileg mind az új, mind a meglévő berendezésekhez alkalmazhatók az említett előfeltételek figyelembevételével.

## 9.5 A hazai helyzet

Hazánkban a Magyar Vas-és Acélipari Egyesülés tagvállalatai közül jelenleg a diósgyőri DAM Steel Rt. és az ózdi OAM Kft. működtet villamos ívkemencét, 80, illetve 60 t-s kapacitással. A MVAE Műszaki Fejlesztési Irodáján folyó év szeptemberében készült előterjesztés alapján a hazai elektroacélgártásra jellemző emissziós adatokat a 9.A.táblázat foglalja össze.

Mérték- Megnevezés	EU-felmérés adatai egység	Magyar fajl.szennyezések			
		2001-ben			
		DAM Steel Rt.	OAM Kft		
Légszennyezés	g/t foly.acél				
Por	g/t	124 - 166	166	77	
Pb	g/t	0.02	n.a.	n.a.	
Zn	g/t	0.2 - 45	n.a.	n.a.	
SO <sub>2</sub>	g/t	24 - 130	0	83	
NO <sub>x</sub>	g/t	120 - 240	137	138	
CO	g/t	740 -3900	2882	3000	
PCDD/F	µg I-TEQ/t	0.07 - 9	n.a.	n.a.	
PAH	mg/t	0.5 - 456	n.a.	n.a.	
Hulladékok/mellék- termékek	kg/t foly.acél				
Kemencesalak	kg/t	100 - 150	158	230	
Szekundersalak	kg/t		10 - 30	14	30
Szállópor	kg/t	10 - 20	14	12	
Falazathulladék	kg/t		2 - 8	n.a.	n.a.
Szennyvíz	kg/t	zárt rendszer	n.a.	n.a.	

4 EU ország elektroacélműveinek adatai alapján

n.a. nincs adat

9.A.táblázat: Hazánk elektroacélgártására jellemző emissziók 2001-ben



## 9.6 Kialakuló technikák és jövőbeni fejlesztések

A fő fejlesztési irány:

- Hulladékválogatás
- Új kemencekoncepció

A szerves klórvegyületek, különösen a PCB emisszióit a hulladékkal való bevitel minimalizálásával lehet jelentősen csökkenteni. Számos háztartási készülék, olajégő, fluoreszkáló lámpa kis kondenzátora tartalmaz PCB-t. A kondenzátorok eltávolítása a zsugorító üzemek feladata volna, azonban jelenleg ezt a tevékenységet főleg költségessége miatt nem folytatják.

Az új kemencekoncepciók közül említésre méltó:

- a Comelt EAF és a
- Contiarc kemence.

A *Comelt ivkemence* egyenárammal és négy ferde elektróddal dolgozik [Berger, 1995]. A hulladék előmelegítése a tetőhöz kapcsolódó aknában megy végbe. Az eljárás előnyei:

- nagy termelékenység (45 percnél kisebb adagidő,
- az integrált hulladék előmelegítés révén is csökkentett összes energiafogyasztás (kb.360 MJ/t),
- az elektródfogyasztás kb.30%-os csökkentése,
- teljes kemencegáz-összegyűjtés és a kemencegázok mennyiségének max. 70%-os csökkentése,
- a karbantartási idő csökkenése az egyszerű szerkezet révén és
- a zajszint max. 15 dB(A)-el csökken.

A kísérleti Comelt kemencét a VAI telepítette Linzben az 50 t-s plazmakemence helyén.

A *Contiarc kemence* folyamatosan működő aknás berendezés egy egyen- és váltóárammal egyaránt működtethető központi elektróddal [Reichelt, 1996]. A hulladékot itt is kemencegázokkal melegítik elő. A kísérleti kemencét az RWTH Aachen állította fel.

## 10 Új/alternatív vasgyártó technikák

Vasat több mint 500 éve állítanak elő nagyolvasztóban. Ezalatt a kohót igen hatékony reaktorrá fejlesztették. Mégis vannak ma már más eljárások is, amelyek kihívást jelentenek a nyersvasgyártásra szolgáló nagyolvasztónak. A nyomást a következő szempontok gyakorolják az acél nagyolvasztóval kapcsolt előállítási módjára:

- a zsugorítóművek környezeti szempontjai,
- a kokszolóművek környezeti és gazdaságossági szempontjai,
- a nyersvastermelés viszonylagos rugalmatlansága és nagysága és a
- hulladékra alapozott és a DRI-EAF acélgyártó út növekvő versenyképessége.

A jövő primer vas-és acélgyártására vonatkozó elképzelés [Freuhan, 1993] szerint az alábbi két út áll előttünk:

- olvadékredukció - folyamatos oxigénes acélgyártás - továbbfejlesztett üst- és vákuumos finomítás - végmérethez közeli öntés *és/vagy*
- direkt redukció - elektrokemence - továbbfejlesztett üst- és vákuumos finomítás - végmérethez közeli öntés.

### 10.1 Direkt redukció

A direkt redukció (DR) szilárd primer vasat állít elő vasércet redukáló anyagokkal (pl. földgáz) való kezelése során. A szilárd terméket direkt redukált vasnak (DRI) nevezik és főleg elektrokemencék betétjeként használják fel. Az eljárás mintegy félévszázados és ezen időszak alatt számos módszer született. Jelenleg nem hozott még jelentős áttörést a fejlesztés. 1996/1997-ben mintegy 36.5 Mt direkt redukált vasat termeltek, ami a világ nyersvas-termelésének 4.4%-a.

A gyakorlatban három jelentősebb eljárás működik: a MIDREX, a HyL (I., II. és III.) és a FIOR.

Csak nemrég fejlesztettek ki öt eljárást. Ezek: FASTMET, IRON CARBIDE, CIRKORED, INMETCO és FINMET. A MIDREX eljárással 22.9 Mt/a-t és a HyL III-mal 6.9 Mt/a-t termeltek 1997-ben.

A direkt redukált vas egyik alternatívája a vaskarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), melyet szintén direkt redukcióval állítanak elő, de a termék kb. 90%-ban  $\text{Fe}_3\text{C}$ -ből áll. A viszonylag nagy, 6% körüli C-tartalom elégségesnek bizonyul az elektrokemence fajlagos áramfogyasztásának csökkentésére. Az első ipari méretű vaskarbid-gyárat 1995-ben állították fel Trinidadban, 300000 t kapacitással. A tényleges termelés 1998-ban 150000 t volt.

Környezeti hatás tekintetében a fő előnye a direkt redukciós üzemnek a nagyolvasztóval szemben, hogy földgázt vagy szenet használ fel és így nincs szükség kokszolókra, ezzel pedig jelentősen csökkennek az emissziók.

### 10.2 Olvadékredukció (SR)

Az olvadékredukció terméke folyékony nyersvas vagy (néhány esetben) folyékony acél. Számos olvadékredukciós eljárás van kifejlesztés alatt, azonban ipari méretekben csak a Corex-eljárást alkalmazzák.

A Corex-eljárás kétlépcsős technológia. Az első lépcsőben a vasércet egy aknás kemencében az olvasztó-elgázosításából származó gázzal előredukálják. Majd a második lépésben a redukált vasat az olvasztó-elgázosító egységben megolvasztják, majd a nagyolvasztóéhoz hasonló módon csapolják.

A Corex-eljárást a Voest-Alpine fejlesztette ki. 1989-ben Dél-Afrikában az ISCOR-nál állítottak fel egy 300000 t/a kapacitású egységet. Ezt követte a dél-koreai POSCO-nál 1996-ban felállított, 750000 t/a kapacitású mű telepítése. A drámai gazdasági helyzetre tekintettel az ISCOR 1997-ben leállította Pretoria Művét és a Corex üzemét a hazai és a nemzetközi piac nyersvasigényének kielégítésére használta. Újabb az ázsiai krízis nyomán időlegesen leállították a Corex üzemét.

A POSCO-nál felállított mű jelenleg darabos ércel és pellettel dolgozik.

Az emissziós szintek tekintetében előnyös a Corex eljárás, mivel szenet használ energiaforrásként, s így a kokszyártás emissziói nem terhelik a környezetet. Nem keletkezik az eljárás során kátrány, fenol, BTX, PAH, stb. Az exportgáz portartalma kevesebb, mint 5 mg/Nm<sup>3</sup>.

A beruházás költsége 195 Ecu<sub>1996</sub>/t folyékony nyersvas.

Az alábbi eljárások állnak fejlesztés alatt:

- HISMELT,
- DIOS,
- AISI-DOE/CCF és a
- ROMELT.

### 10.3 A hagyományos nagyolvasztó-út összehasonlítása a direkt redukciós és az olvadékredukciós úttal

A hagyományos nagyolvasztó-út, a direkt redukciós út és az olvadékredukciós út összehasonlítása a 10.4. táblázatban látható.

Jellegzetességek	Hagyományos Direkt redukció* <sup>2</sup>	Olvadékredukció* <sup>2</sup>
nagyolvasztó-út* <sup>1</sup>	(pl. MIDREX)(pl. Corex)	
Termelésnagyság kialakuló technológia-és forráshatékony út, min. 2Mt/a termeléssel. Még a legfontosabb vasgyártó eljárás.	Régóta bevált, energetikailag többsége gázra alapozott, a kapacitás 63%-a MIDREX. Jelenleg 1.3Mt/a a max. üzemkapacitás. A DRI általában az elektrokemence betétje.	A meglévő kapacitások még nincsenek kihasználva. Csak a Corex eljárás vált ipari módszerré. A legnagyobb művi kapacitás 700000 t/a.
Betétanyag	<b>Szén</b> Az antracittól a lignitig széles a skála.	<b>Szén</b> (ha használják) <b>Szén</b> Nemkokszolható szenek
Kokszolható szén Kokszdara és antracit a zsugorítóműbe. Szén a nagyolvasztóba fűvátáshoz (nem kokszolható szén is lehet).	<b>Gáz</b> A kéntartalom kicsi legyen a katalizátor mérgezésének megelőzésére és a termékminőség biztosítására.	<b>Fémhordozók</b> Darabos érc, zsugorítvány vagy pellet. Finomérc még nem használható
<b>Befűvott anyagok</b> Szén, olaj(fáradt is), földgáz és műanyag		

Jellegzetességek	Hagyományos	Direkt redukció* <sup>2</sup>
<p>Olvadékredukció*<sup>2</sup></p> <p>Fémhordozók Széles a minőségskála. darabos érc vagy pellet</p>	<p>Oxigén Kiváló minőségű (és így e-nergia) szükséges.</p>	<p>Nagymennyiségű</p>
<p>Energiaigény Jellemzően 17-18 GJ/t folyékony nyersvas. (gázalapú), 100%-darabosérc-alapon.</p>	<p>Jellemzően 10.5-14.5 szilárd DRI nergia jóváírásától függ.</p>	<p>Nehéz meghatározni, az eladott e-</p>
<p>Termékminőség Stabíl és kívánt minőség ha nincs passzivalva vagy brikettálva. Csúcsminőség a betét-minőségtől függ.</p>	<p>nyersvasával azonos.</p>	<p>A nagyolvasztó</p>
<p>Környezethatás eljárás Néhány SR eljárás kibocsátások: porok, VOC, PAH és sok szerves vegyület a kokszolóból. A zsugorítóművek kibocsátásai: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, por, VOC, PCB, PAH, PCDD/F, míg a nagyolvasztó port és SO<sub>2</sub>-t bocsát ki az öntöcsarnokból. Az eljárás vízigénye nagy. Azonban ez az út sok olyan szilárd hulladék/melléktermék reciklálását biztosítja, amelyek sok DRI-eljárásban nem lehetséges. A kohó kéntelenítő képessége nagyobb kéntartalmú fűtőanyag és redukálóanyag felhasználását teszi lehetővé környezetbarát módon. A kohósalakot fel lehet használni útépitéshez, vagy salakcement gyártásához. Mindkét melléktermék környezetelőnye az, hogy csökkenti a primer aggregátigényt.</p>	<p>A környezetbe jutó vaspelletet használ, figyelembe kell venni a pelletezés kibocsátását. A DRI terméknek tipikusan 2-4% meddője további energiát igényel a feldolgozaskor és további környezetszennyezéssel kell számolni. A porkibocsátások hasonlóak a nagyolvasztóhoz, mivel a nyersanyagot rostálják a feldolgozás előtt. Szükség van a finomfrakció környezetkímélő feldolgozásának biztosítására, ha a DR-rel helyettesítik a hagyományos vasgyártást. NO<sub>x</sub>-et bocsát ki a gázátalakítóegység fokozat. A legtöbb sikeres DR-eljárás földgázt használ, bár a szén marad az emberiség legnagyobb rendelkezésre álló energiaforrása. A fenntartható fejlesztés szellemében a gázt nagyértékű termékek előállításához kell megőrizni.</p>	<p>Mivel a legtöbb DR sok, hasznosítandó füstgázt termel. Az energiaigények és a CO<sub>2</sub> emissziók nagyobbak, mint a nagyolvasztó-útnál. Szükség van a finomfrakció környezetkímélő feldolgozásának biztosítására, ha az SR-rel helyettesítik a hagyományos vasgyártást.</p>

Beruházási költség	1150 MEu	3.5 Mt/a-	210 MEu	1.36 Mt/a-hoz	240 MEu	600 kt/a-
hoz (a zsugorítóművel és a kokszolóval együtt)			(megfelelő pellet vagy dara-	hoz (az oxigéngyár		
			rabos érc rendelkezésreál-	költségével együtt		
		lását feltételezve)	és darabos ércfelhasználást feltételezve)			

\*1 kokszoló, zsugorítómű és nagyolvasztó;

\*2 DR és SR kialakuló eljárások és a környezethatásokra vonatkozó összes adat még nem áll rendelkezésre

10.4.táblázat: A hagyományos nagyolvasztó-út összehasonlítása a direkt redukciós és az olvadékredukciós vasgyártással

## 11 Következtetések és ajánlások

Ez a fejezet a tanulmány összeállításának részhatárideit, az információk forrásait, az elérhető legjobb technikákat, a konszenzus mértékét és a jövőbeni tevékenységet tekinti át.

A rendelkezésre álló tanulmányok közül kiemeli a "Holland megjegyzések a primer vas és acél előállítására vonatkozó BAT-tal kapcsolatban" és kisebb mértékben a "Tanulmány a BAT-ra vonatkozóan az elektroacélgyártó iparban" című német dokumentumokat.

A vas-és acélgyártásra vonatkozó BREF (BAT Referencia Dokumentum) magasszintű konszenzusnak örvend.

A jövőbeni munkára vonatkozó ajánlások áttekintése kiemeli, hogy különösen annak a munkának kell megkezdődnie a lehető legkorábban, amely az adatok minősítésének megjavítását tűzi ki célul.

Tény ugyanis, hogy az EU-ban (és a világon) összegyűjtött adatok összehasonlíthatósága nem szavatolt, mivel különbözőek a mintavételi módszerek, az elemző eljárások, az időintervallumok, a számítási módszerek és a referenciafeltételek. Ennek következtében parancsoló az igény a sürgős harmonizálásra.

## 12 GLOSSZÁRIUM

### 12.1 Általános rövidítések

		Egységek	
AISI	Amerikai Vas és Acél Intézet	bar	bar
AS	Aktivált iszap	Bq	Bequerel
BF	Nagyolvasztó	°C	fok Celsius
BFG	Torokgáz (nagyolvasztóé)	EURO	európai pénznem
BOD	Biokémiai oxigénigény	g	gramm
BOF	Bázikus oxigénes konverter	J	Joule
BOF <sub>gas</sub>	Oxigénes konverter(füst)gáz	h	óra
BTX	Benzol, toluol, xilol	I-TEQ	PCDD/F mérgezőhatás
CCM	Folyamatos öntőgép (öntómű)		egyenérték
CDQ	Száraz koksoltás	kWh	kilowattóra
COD	Kémiai oxigénigény	l	liter
COG	Kokszkemencegáz	m	méter
DCI	Direkt karbonbefúvatás	m <sup>2</sup>	négyzetméter
DIOS	Direkt vasérc-olvadékredukció	m <sup>3</sup>	köbméter
DRI	Direkt redukált vas	Nm <sup>3</sup>	normál állapotú m <sup>3</sup> (273K, 1013 mbar
EURO	Európai pénzegység		
EOS	Optimális emissziójú zsugorítás	ppm	milliomodrész
ESP	Elektrosztatikus (por)leválasztó	ppmv	térfogatra vonatkozó
ETP	Elektrosztatikus kátrányleválasztó		milliomodrész
FB	Fluidágy	s	másodperc
FF	Szövetszűrő	t	tonna (1.10 <sup>6</sup> gramm)
HBI	Melegen brikettált vas	vol%	térfogatszázalék
MEEP	Mozgóelektródos elektrosztatikus leválasztó(tisztító)	Watt y	Watt év
MLSS	Kevert oldatban szuszpendált szilárd részecske	K a	Kelvin annum (év)
PAH	Poliaromás szénhidrogén		
PCDD/F	Poliklór-dibenzo-p-dioxinok/furánok		
pre-DN/N	Előzetes denitrálás/nitrálás	<b>Átszámítások</b>	
PCI	Szénporbefúvás	2.05 mg NO <sub>2</sub> / Nm <sup>3</sup> = 1 ppmv NO <sub>2</sub>	
RAC	Regenerált aktivált koks	2.85 mg SO <sub>2</sub> / Nm <sup>3</sup> = 1 ppmv SO <sub>2</sub>	
SS	Szuszpendált szilárd anyag	1 Watt = 1 J/s	
VOC	Illanó szerves vegyületek		

### 12.2 Emissziókra utaló mérőegységek:

1. Levegőbe jutó emissziók:

---

A vízgőztartalom levonása utáni, normál állapotú füstgáz (273 K, 1013 mbar) térfogategységére vonatkoztatott kibocsátott anyagok tömege, [g/Nm<sup>3</sup>], [mg/Nm<sup>3</sup>], [μg/Nm<sup>3</sup>], vagy [ng/Nm<sup>3</sup>] egységben kifejezve;

Az időegységre vonatkoztatott kibocsátott anyagok tömege, [kg/h], [g/h] vagy [mg/h] egységben kifejezve;

A kibocsátott anyagok tömegének aránya az előállított vagy feldolgozott termékek tömegéhez (felhasználási vagy emissziós tényezők), [kg/t], [g/t], [mg/t] vagy [μg/t] egységben kifejezve.

2. Vízbe jutó emissziók:

A szennyvíz térfogategységére vonatkoztatott kibocsátott anyagtömeg [g/m<sup>3</sup>], [g/l], [mg/l] vagy [μg/l] egységben kifejezve.