



Károly Gyula – Józsa Róbert

# KONVERTERES ACÉLGYÁRTÁS

Miskolci Egyetem  
2012/2013

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség  
[www.ujsechenyiterv.gov.hu](http://www.ujsechenyiterv.gov.hu)  
06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Károly Gyula - Józsa Róbert  
műsz. tud. doktora okl. kohómérnök  
Prof. emeritus vezető mérnök

# KONVERTERES ACÉLGYÁRTÁS

A digitális tananyag a TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0071 számú, *Kompetencia alapú, korszerű, digitális komplex tananyagmodulok létrehozása és on-line hozzáférésük megvalósítása fémtechnológiákhoz kapcsolódó felsőfokú műszaki képzési területeken* című projekt keretében készült

Lektorálta:

**Dr. Szabó Zoltán**  
a Dunaferr ny. főmetallurgusa  
ny. főisk. tanár

# TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK .....	3
ELŐSZÓ.....	5
1. AZ ACÉLGYÁRTÁS TÖRTÉNETÉNEK RÖVID ÁTTEKINTÉSE .....	6
1.1. Az acélgártás illeszkedése a vaskohászat technológiai vertikumába .....	6
1.2. Acélgártás nyersvasból frisstüzekben .....	7
1.2.1. Nyersvasfinomítás .....	8
1.2.2. Acélra való frissítés .....	8
1.2.3. Lágyvasra való frissítés .....	9
1.3. Acélgártás nyersvasból kavarókemencében.....	9
1.4. Az egylépcsős és kétlépcsős acélgártás.....	12
1.5. Az acélgártás technikai színvonala a fizikai és kémiai tudományos ismeretek tükrében a XIX. század első felében .....	12
1.6. Acélgártás nyersvasból szélfrissítéssel konverterekben.....	13
1.7. Acélgártás nyersvasból és acélhulladékból Siemens- Martin- kemencékben.....	15
1.8. Acélgártás tégelyben és elektrokemencében.....	19
1.8.1. Tégelyacélgártás.....	19
1.8.2. Acélgártás elektrokemencében (ld.bővebben az Elektroacélgártás jegyzetben) .....	20
1.9. Acélgártás oxigén konverterben (ld.bővebben e jegyzet későbbi fejezeteiben) .....	21
1.10. Acélgártás direktredukciós termékekből .....	22
1.11. Az acélgártás és a kapcsolódó technológiai fázisok történetének időrendi áttekintése .....	23
2. AZ LD-ELJÁRÁS KIALAKULÁSA, A KLASSZIKUS LD-KONVERTER SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE .....	25
2.1. Az LD-eljárás kialakulása .....	25
2.2. A klasszikus LD-konverter (konverterüzem) szerkezeti felépítése.....	27
2.2.1. Konvertertest .....	29
2.2.2. Oxigénlándzsa .....	40
2.2.3. Szublandzsa.....	41
2.2.4. Bunkerrendszer.....	44
2.2.5. Füstgáz(konvertergáz)kezelés .....	44
3. AZ OXIGÉN KONVERTERBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK, AZ ADAG VEZETÉSE .....	47
3.1. Az adagvezetés elemei .....	47
3.2. A betétanyagellátás szempontjai .....	49
3.3. Konverternyersvas.....	51
3.4. Acélhulladék.....	59
3.5. Konvertermész .....	62
3.6. Betétanyagok konverterbe adagolása .....	62
3.7. A konverterben lejátszódó folyamatok. A vasbetét oxidációja a konverterben. ....	66
3.7.1. Lágyfúvatás .....	66
3.7.2. Keményfúvatás.....	69
3.7.3. Ellenőrzést követően a nyersacél kikészítése.....	70
3.7.4. Csapolás, dezoxidálás, szekunder salakképzés .....	74
3.7.5. Salakcsapolás, falazat és csapolónyílás ellenőrzés .....	75
4. SPECIÁLIS KONVERTERES ELJÁRÁSOK .....	76
4.1. Alsófúvású ill. kombinált fúvású konverterek előnyei az LD-eljáráséhoz képest .....	76
4.2. A felhasználható acélhulladék arányának növelhetősége a konverterezésnél.....	81

4.3. Ötvözött ill. minőségi acélok gyártása konverterekből .....	82
5. Konverteradag betétösszeállítás .....	84
5.1. Hőmérleg .....	84
5.1.1. Hőmérleg elkészítéséhez szükséges adatok .....	84
5.1.2. Hőmérleg számításához szükséges paraméterek átlagos értékei.....	85
5.1.3. Anyagmérleg számítása.....	87
5.1.4. A hőmérleg számítása .....	90
5.1.5. A hőfelhasználás .....	91
5.2. Hőmérleg meghatározása diagram alapján.....	91
6. Oxigén konverter acélgyártás .....	93
6.1. Konverteres acélgyártás elmélete.....	93
6.1.1. Bázikus oxigén acélgyártás: bevezetés .....	93
6.1.2. Az acélgyártás története .....	94
6.1.3. Az acélgyártás termodinamikája .....	95
6.2. A konvertertest leírása.....	96
6.3. Beviendő anyagok, adalékok és termékek .....	97
6.3.1. A konverterbe adagolt nyersanyagok:.....	97
6.3.2. A fúvatási művelet befejezése után képződött anyagok:.....	97
6.4. Kémiai reakciók .....	97
6.4.1. Az oxigénsugár becsapódási reakciói a felső fúvatású konvertreknél .....	98
6.4.2. Az oxigén gázugár becsapódási reakciói alsó fúvatású konvertrekre .....	98
6.4.3. Tömeg-és hőmérleg.....	98
6.4.4. Végpont szabályozás .....	98
6.4.5. Fúvóka kialakítás felső fúvatású konverterek esetén .....	99
6.4.6. Fúvóka kialakítás fenékfúvatású konverterek esetén .....	99
6.4.7. Folyamatszabályozó paraméterek, rendszerek és modellek.....	99
6.4.8. Salak/fém reakciók .....	100
6.4.9. Salak kialakítás és összetétel.....	100
6.4.10. Foszfortalanítás a BOP I-ben .....	101
6.4.11. Tűzálló anyagok .....	103
6.4.12. Csapolás .....	103
6.4.13. Füstgáz és füstkezelés .....	103
6.4.14. Salakkezelés .....	104
6.5. Betétszámítás.....	104
6.5.1. Mérlegegyenletek kiválasztása.....	104
6.5.2. A Simplex módszer alapelvei mérleg egyenletek megoldására .....	105
6.5.3. Hogyan írjuk fel a mérlegegyenleteket .....	106
6.6. A szimulációs program bemutatása.....	108
6.6.1. A szimuláció működtetése .....	109
6.6.2. A gyártható acélfajták jellemzése.....	111
6.6.3. Betét összeállítása .....	111
6.6.4. Adaggyártás.....	112
IRODALOMJEGYZÉK.....	117
TESZTFELADATOK .....	<b>Hiba! A könyvjelző nem létezik.</b>

# ELŐSZÓ

250 évvel ezelőtt, Mária Terézia királynő 1762. október 22-i rendeletével indult be -a világon elsőként- a bányász-kohász akadémiai szintű képzés a selmeci tanintézetben. Az 1867-es osztrák-magyar politikai kiegyezéssel a selmeci akadémia magyar állami intézmény lett, Kerpely Antal professzor az 1872-ben alapított Vaskohászat és Vasgyártás Tanszéken még az 1972/73-as tanévben megjelentette az első magyar nyelvű kohászati tankönyvet, a kétkötetes Vaskohászat-t. A hazai kohómérnökképzés azóta eltelt 140 éve során -Selmecen-Sopronban-Miskolcon- a tematikában, az oktatásszervezésben, a jegyzetellátottságban számos változás következett be, most, a 2012/2013-as tanév során a kor követelményeinek megfelelően –a TÁMOP-4.1.2.A-1-11/1 sz.pályázat elnyerése alapján megindult jegyzet- korszerűsítés során- elsőként jelennek meg digitális jegyzetek az acélgégyártás témakörében (az egy-másra épülés sorrendjében az alábbiak):

Károly Gyula:

## **Acélméteallurgia alapjai**

Károly Gyula – Józsa Róbert:

## **Konverteres acélgégyártás**

Károly Gyula – Kiss László - Harcsik Béla:

## **Elektroacélgégyártás**

Károly Gyula – Kiss László - Károly Zoltán:

## **Acélok üstméteallurgiai kezelése**

Károly Gyula – Réger Mihály – Harcsik Béla:

## **Acéllöntés, speciális acélgégyártás**

Tardy Pál – Kiss László – Károly Gyula:

## **Speciális acélok gégyártásának méteallurgiai, energetikai, környezetvédelmi, minőségbiztosítási szempontjai**

\*

Tardy Pál – Károly Gyula:

## **Acélgégyártásnál a technológia fejlesztés, adagvezetés elméleti megfontolásai, vertikális szempontjai**

Kiss László – Józsa Róbert – Harcsik Béla:

## **A primér acélgégyártás technológia tervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai**

Kiss László – Józsa Róbert – Harcsik Béla:

## **Az üstméteallurgia és a folyamatos öntés technológia tervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai**

Az utóbbi 3 jegyzet az Európai Unióban mindmáig egyetlenként elfogadott közös tananyag, a steeluniversity magyar nyelvű adaptációját ill. hazai vonatkozásokkal kiegészítését jelenti, mely rövidesen a [www.steeluniversity.org](http://www.steeluniversity.org) honlapon található. Jegyzetkorszerűsítéseink során figyelembe kellett vennünk, hogy az a mai kohómérnökképzés négyes lépcsőjének (felsőfokú szakképzés-BSc képzés-MSc képzés-PhD képzés) megfeleljen, segítse az elméleti felkészülés mellett a gyakorlatorientált mérnökképzést is. Ezen jegyzetek mindegyike a [www.tankönyvtar.hu](http://www.tankönyvtar.hu) honlapon, ill. a Vaskohászat és Vasgyártás tanszék mai jogutódjának, a Miskolci Egyetemen működő Metallurgiai és Öntészeti Intézet-nek a honlapján ([www.metont.uni-miskolc.hu](http://www.metont.uni-miskolc.hu)) tekinthető meg.

Szerzők

# 1. AZ ACÉLGYÁRTÁS TÖRTÉNETÉNEK RÖVID ÁTTEKINTÉSE

## *1.1. Az acélgártás illeszkedése a vaskohászat technológiai vertikumába*

A mai műszaki értelmezés szerint az acélgártás az a metallurgiai művelet, amely vastartalmú nyers alapanyagokból finomított vasanyagot, acélfélterméket hoz létre. A nyers alapanyagokkal (pl. nyersvasal, vasszivaccsal, acélhulladékkal) szemben a kémiai összetétel, fizikai tisztaság és alak tekintetében az acélgártás általában nem támaszt szigorú követelményeket. Az acélféltermék (pl. acéltuskó, öntött buga és bramma vagy öntvény) kémiai összetételének, alakjának, méretének, felületi minőségének viszont meg kell felelnie a kohászati tovább feldolgozó (pl. hengerlő, kovácsoló, sajtoló) üzemek előírásainak. Következésképpen korunk acélgártása: vasolvadékok kémiai és fizikai tulajdonságait szabályozó, majd előírt alakokra kristályosító művelet.

A modern vaskohászatban a fenti folyamatok egymástól jól elhatárolhatók: pl. vaskinyerés nagyolvasztóban, nyersacélgártás primér kemencében (konverterben vagy elektrokemencében), kristályosítás öntőgépen, képlékenyalakítás hengerekkel vagy kovácsoló gépeken történik. E folyamatok az ősi vaskohászati technológiákból fejlődtek ki, az elmúlt 4-5 ezer évben. A kezdő fázis, a vaskinyerés és a befejező fázis, a képlékenyalakítás az ősi eljárásokból evolúcióval, fokozatos fejlődéssel jutott el a mai műszaki színvonalra. Az acélgártás (nyersacélgártás, finomítás és kristályosítás) viszont az ősi eljárásokból innovatív lépésekkel, ugrásszerű technológiaváltások útján alakult mai modern eljárásokká.

Ez a fejezet azoknak az acélgártó eljárásoknak fontosabb technológiai összefüggéseit foglalja össze röviden, amely eljárások a XXI. század elején már inkább csak technikatörténeti jelentőségűek. A mai modern acélgártó eljárások – oxigénkonverteres, elektrokemencés és fontosabb különleges technológiák – itt csak vázlatosan, mint a történeti fejlődés legújabb változatai szerepelnek: ezekkel külön-külön fejezet (jegyzet) foglalkozik.

A történelmi acélgártó technológiák tanulmányozása egyrészt a műszaki kultúra ismeretanyagának bővítését szolgálja, másrészt viszont a vaskohászok számára nélkülözhetetlen, hiszen a régi (és ősi) eljárások legfontosabb kohászati elemei megtalálhatók a modern technológiákban is.

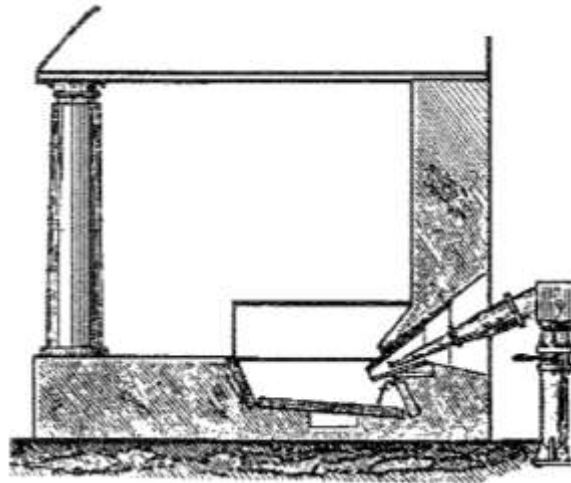
Technikatörténeti acélgártó technológiák:

- buccavas (acél)gártás
- frisstúzi acélgártás
- kavarási acélgártás
- szélfrissítéses acélgártás
- martinacélgártás

Mivel az Archeometallurgiai jegyzet részletesen foglalkozik a buccavas gártással, ezért e jegyzet a többi eljárást ismerteti, mivel ezek szoros értelemben tekinthetők az oxigénkonverteres acélgártás szellemi elődjének.

## 1.2. Acélgártás nyersvasból frisstüzekben

A nyersvasból évszázadokon át frissítő tűzhelyeken, ún. frisstüzekben gyártottak kovácsvasat és acélt. A frisstüzek öntöttvas lapokkal határolt, égetett agyaggal bélelt kemencék voltak (1.1. ábra). Bennük a darabokra tört nyersvasat faszéntüzzre helyezték: a tüzet az alulról fújtatót levegővel táplálták.



1.1. ábra Frisstűz (frisselő-kemence) fújtatóval [1.7]

A vas a tűzben cseppenként olvadt meg. A lecsorgó vascsseppek felületén a fűvószél-áram oxigénjével  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  képződött. A vascsseppek a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -dús salakban süllyedve, a tűzhely alján gyűltek össze. Az oxidáció következtében a vas Si-, Mn- és C-tartalma csökkent, olvadáspontja növekedett és lágy gomolyaként kristályosodott. A gomolyát gyakran nevezték lupának is. A gomolyát kovácsolással tisztították meg a bezáródott salakrészeketől.

Egy korabeli vasműhely frisstűzből és közvetlenül mellé telepített kalapácsból állt. A kalapács neve hámor volt, de rendszerint magát a műhelyt (frisstűzet és kalapácsot) értették a hámor elnevezés alatt.

A frisstüzekben lehetett nyersvasat finomítani, azaz a nyersvas C és Si- tartalmát, Mn- tartalmát csökkenteni: lehetett rajtuk acélt, finomszemcsés vasat vagy lágyvasat gyártani. A kiinduló vas vegyi összetételétől függött, hogy hány frissítő leolvasztással érték el a termék tervezett C- tartalmát. Pl. Si- dús szürkenyersvasból lágyvasat három leolvasztással gyártottak:

első leolvasztás	nyersvasfinomítás (deszilizáció)
második leolvasztás	acélra való frissítés
harmadik leolvasztás	lágvasra való frissítés.

Mindenegyik leolvasztáskor lejátszódott oxidáció, salakképződés és kristályosodás.

### 1.2.1 Nyersvasfinomítás

Kiinduló anyag: szürkenyersvas 2 % Si- tartalommal.

Faszéntűzre rakják a darabokra tört nyersvasat. A lejátszódó folyamatok:

- a levegőáramban cseppenként leolvadó nyersvasból oxidálódik kevés Fe:



de a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ezen a hőmérsékleten nem stabilis, ezért nyomban átalakul:



- a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  jelenléte hatására a Si túlnyomó hányada és a Mn egy része oxidálódik:



- az oxidokból salak keletkezik és a tűzhelyfenékre csorog: a salak fő alkotója  $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$  (biszilikát)
- a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  hatására a grafit –C kis hányada is oxidálódik:



vagy  $\text{Fe}_3\text{C}$  alakban oldódik a vasban

- a fémtermék a salak alatt lepény alakban kristályosodó finomított nyersvas: mai megnevezésünk, felfogásunk szerint szilíciumtalanított (deszilicizált) nyersvas.
- a folyamat azzal fejeződik be, hogy a salakot lecsapolják, a vaslepényt kiemelik és darabokra tördelik, a tüzet kitisztítják.

### 1.2.2. Acélra való frissítés

Kiinduló anyag: finomított nyersvas. Műveletek és folyamatok:

- faszéntűzre helyezik a finomított nyersvasdarabokat
- a leolvadó vas-cseppekből oxidálódik a Fe egy része, a maradék Si és Mn: a salak fő alkotója  $2 \text{ FeO} \cdot \text{SiO}_2$  (szingulószilikát), ebben jól oldódik az  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  és a MnO
- a C oxidációja intenzíven folyik
- A P egy része (hőmérséklettől függő mértékben) oxidálódik és a salakba kerül, a S egy része is (a folyamat időtartama függvényében) oxidálódik
- a fémtermék a tűzhelyfenéken összegyűlő képlékeny acélgomolya, a gomolyában egymástól kisebb mértékben eltérő C-tartalmú kristálycsomók és salak szemcsék tapadnak egymáshoz



- a salakot lecsapolják, az acélgomolyát egy darabban kiemelik.

### 1.2.3. Lágyvasra való frissítés

Kiinduló anyag: acélgomolya és vasoxidokban dús salak

- faszéntűzre rakják a feldarabolt acélgomolyát és a salakdarabokat
- az acél nehezebben olvad: a leolvadó cseppeket egymástól híg folyós salakburok választja el, s így haladnak lefelé az oxidáló levegőáramban, miközben
- a Fe egy része oxidálódik és a salakba kerül
- a C- tartalom minimálisra csökken
- kis mértékben oxidálódik a P és S
- a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  –ban dús, erősen oxidáló hatású, készrefrissítő (lágyrafrissítő) salakban gyűlik össze a fém: a lágyvas kristályok halmaza, a tézstaszerű vascsomókat egyetlen gomolyává gyúrnak.

A háromolvasztásos lágyvasgyártás akkor volt szokásos, amikor előkészítetlen szürkenyervasból indultak ki. A frisstüzek – ha lehetett, termelékenységük növelése érdekében – finomított, más szóval fehéritett nyersvasat kértek vagy vásároltak. A nyersvasfinomítás ez esetben az olvasztómű feladata volt.

A frisstüzen az  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  az a salakalkotó, amely oxidálni (frissíteni) képes. Az FeO is salakalkotó, segíti az  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  oldódását, de közvetlenül nem frissít.

A hámorokban - akár acélra, akár lágyvasra frissítették a gomolyát - befejező művelet a gomolya salaktalanító, újrakristályosító kovácsolása volt. A kalapáccsal kiverték belőle a salakot, ezután a fémesen érintkező fémrészecskék összehegedtek. A gomolyából készrekovácsolt hámori termékek rendszerint tuskó vagy rúd alakúak voltak, és a kovácsműhelyek ezekből készítettek használati eszközöket.

A frisstüzi acélgégyártás az egyetemes fejlődésben elévülhetetlen érdemeket szerzett: a gépipar kialakulásának alapját teremtette meg. S bármennyire meglepő, de valóság, hogy amikor 1775-ben James Watt begyűjtötte a világ első kettős működésű hőerőgépét, az ipari forradalom motorját, és amikor Angliában a nagyolvasztókat már koksszal jártatták, az acélt még a legfejlettebb Angliában is frisstüzeken gyártották.

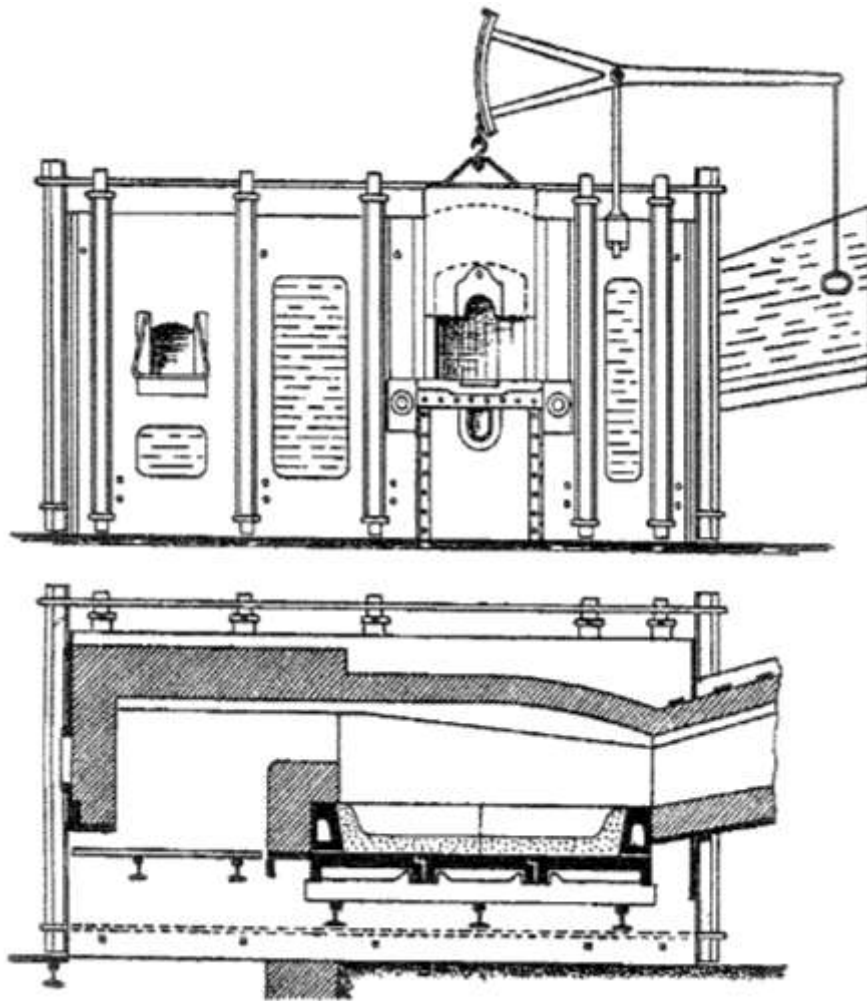
### 1.3. Acélgégyártás nyersvasból kavarókemencében

A frisstüzeknél lényegesen nagyobb teljesítményűek voltak a - Henry Cort által 1784-ben szabadalmaztatott - kavarókemencék, ásványi szénnel fűthető lángkemencék (1.2. ábra). A kemencébe rakott nyersvascipók a kemence medencéjében homogén fürdővé olvadtak.

Az olvadékot a kavarókemencében is  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -dús salakkal frissítették:



A nyersvas Si-, Mn-, P és S – tartalmával is ugyanazok a folyamatok játszódtak le mint a frisstüzekben.

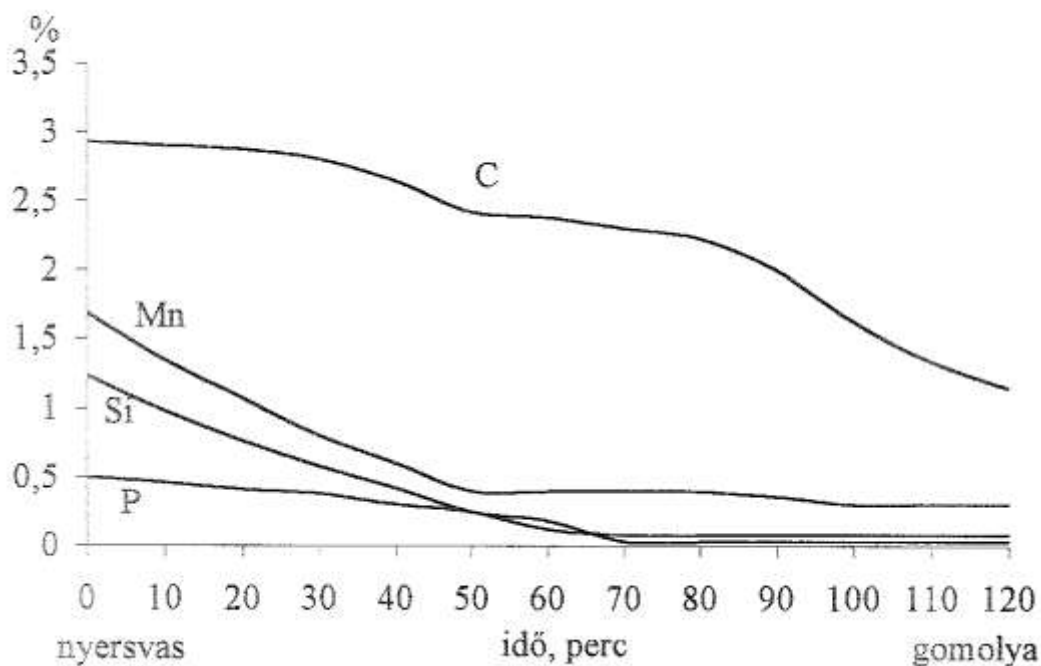


1.2. ábra Kavarókemence [1.7]

A salak frissítő hatását kavarás útján a füstgáz oxigénfeleslegével, továbbá a salakra adagolt apró ércek és izzítókemence-revék vas-oxidjaival tartották fenn. Az érc vagy reve  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -tartalma a salakban való rövid tartózkodás után  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -dá alakul át. A  $\text{FeO}$  a kavarókemencében sem közvetlenül frissítő salakalkotó, mégis övé a főszerep, mert vegyül a fémoxidokkal, és ez a salak oldja a  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ot, továbbá közreműködik a füstgáz oxigénjének felvételében is:



Amíg a nyersvas frissülése a frisstűzben a folyamatok egymást követő leolvasztás útján szakaszolódik, addig a kavarókemencében folyamatosan megy végben. A szilícium oxidálódása már a beolvadás folyamán bekövetkezik, és utána a salak oxigén-aktivitása és a kavarás intenzitása függvényében lassabban vagy gyorsabban frissül.



**1.3. ábra** A kavarókemencében történő acélgyártás folyamatdiagramja [1.7]

Az 1.3. ábra jól szemlélteti, hogy a C-kiégés csak a kísérőelemek oxidálása után lett intenzív. A kavarókemence munkaterét úgy alakították ki, hogy az ajtóból a munkatér minden részét el lehessen érni a kavarórudakkal. A kavarórúd vége általában köríveket írt le a vasolvadékban.

A kavarás nehéz fizikai munka. Ameddig az olvadék C- tartalma még aránylag nagy, addig hígfolyós, de a C- tartalom csökkenésével olvadáspontja növekszik, azt a kemencét hőmérséklete már nem képes követni. A kavarás egyre nehezebbé válik, miközben a vas- vagy acélkristályok csomók alakjában kiválnak. A kavarórudakkal a csomókat cipókká tapasztják össze. A cipóknak több neve volt: gomolya, lupa, bocs, vaskenyér. A gomolyák sok salakot is tartalmaztak, ezért a tűzhíd oldalára helyezték őket, hogy ott - a magasabb hőmérséklet hatására - minél több salak folyjon ki belőlük. Kellő idő múltán az izzó gomolyákat egyenként kiemelték a kemencéből, kalapáccsal kiverték belőlük a maradék salakot, és nyújtás folyamán a vaskristályok összehegedtek (összeforradtak).

A kavaró acélgyártás sokkal termelékenyebb volt, mint a frisstüzi gyártás, emellett a kavartacél minősége is általában jobb és egyenletesebb volt. Megfelelő szerkezeti anyagnak bizonyult a gépgyártás számára.

A frisstüzekben és a kavarókemencékben nyert gomolyákat Henry Cort 1783-ban szabadalmaztatott eljárása szerint kovácsolás és hengerlés kombinációjával is lehetett féltermékké (bugává) vagy rúdvassá alakítani. Eljárásának lényege abban állt, hogy a salaktalanított gomolyákat tömörítő és formát adó kovácsolás után laposvassá, ún. nyerssinné hengerelte. A nyerssínket feldarabolta, majd azokból, egymásra rakva, csomagot, pakettet állított össze: ezt magas hőmérsékleten izzította, majd féltermékké (bugává) vagy rúdvassá hengerelte. A csomag nyerssínjei hengerlés közben összehegedtek (összeforradtak). A kavarókemencés, pakettengerlő üzemek voltak az ún. vasfinomítók.

#### ***1.4. Az egylépcsős és kétlépcsős acélgyártás***

Noha a bucából kovácsolt vas (acél), valamint a frisztúzi és a kavart gomolyából kovácsolt vas (acél) egyaránt forrasztott acél, gyártástechnológiájuk lényege egymástól eltér. A nyersbucát az ércből egy lépcsőben, a redukcióban nyerik: míg a nyersgomolyát két lépcsőben, redukáló és frissítő folyamatban.

Az egylépcsős eljárást – gyakran – közvetlen vagy direkt acélgyártásnak mondják. A kétlépcsősre – ritkán – közvetett vagy indirekt jelzöt használnak.

Itt kell szólni a modern direktredukcióról. Ennek lényege az, hogy a vasércből vagy vasoxidokat tartalmazó másodlagos nyersanyagokból (pl. salakokból, szállóporokból, vörösiszapokból, piritpörkökből, stb) a ferrumot nem kokszos nagyolvasztóban redukálják ki, ezért a termék nem telítődik C-nal: C –tartalma technológiai módszerekkel szabályozható.

A mai direktredukciós eljárásoknak sokféle változata ismeretes, a választott technológia függ:

- a redukálendő anyag fizikai állapotától: lehet darabos, finomszemcsés, darabosított (pl. pelletezett)
- a redukáló anyagtól: lehet szén, koksz, földgáz, hidrogén
- a redukáló berendezéstől: lehet aknás kemence, forgó dobkemence, fluidágyas akna
- a redukum fizikai állapotától: lehet szilárd vagy olvadék
- a feldolgozó acélgyártás módszerétől: lehet ívkemence, indukciós kemence, oxigénes konverter.

Ha a termék szilárd állapotú, akkor a neve: vasszivacs. Ha a vasszivacsot nyerspelletből nyerik, szokás fémestített pelletnek is nevezni. Maga a redukáló eljárás a vasszivacs-gyártás. A vasszivacs C –tartalma általában kisebb 1 %-nál. Legtöbbször elektrokemencében gyártanak belőle acélt. Oxigénes konverterben hűtőfémként hulladék helyett használják.

Ha a termék olvadék állapotú, akkor a C – tartalomtól függően acélfélterméknek vagy nyersvasnak tekintjük. Az eljárás neve: olvadékredukció. Ha a termék nyersvas, az eljárást szokás új nyersvasgyártó módszernek is nevezni. A félterméket elektrokemencében, a nyersvasat oxigénes konverterben dolgozzák fel acéllá.

#### ***1.5. Az acélgyártás technikai színvonala a fizikai és kémiai tudományos ismeretek tükrében a XIX. század első felében***

A kavaróeljárásra alapozva ment végbe Nyugat-Európában az ipari forradalom, s így a technikafejlődésben – mint anyag – a kavartvas és kavartacél játszotta a főszerepet. Ennek ellenére maga a kavaróeljárás technikája már nem illeszkedett sem a vaskohászati vertikumba a nyersvasgyártás és a képlékenyalakítás műszaki színvonalához, sem az emberiség tudományos vívmányaihoz.

A vaskohászati vertikum elején a nagyolvasztókat már koksszal járatták, a légfúvókat gőzgépek hajtották, a levegőt előmelegítették: a vertikum végén gőzkalapácsok és gőzgéppel hajtott hengerek gyártottak sínt, idomacélt, lemezt. A közbenső fázis, az acélgyártás technikája viszont legfeljebb annyi fejlődést tudott felmutatni, hogy a kavarást emberi erő helyett gépek-

kel végeztették, és a kavarókemencébe áramló levegőt előmelegítették. A termelékenység tekintetében azonban így is a vertikum „leggyengébb láncszeme” maradt.

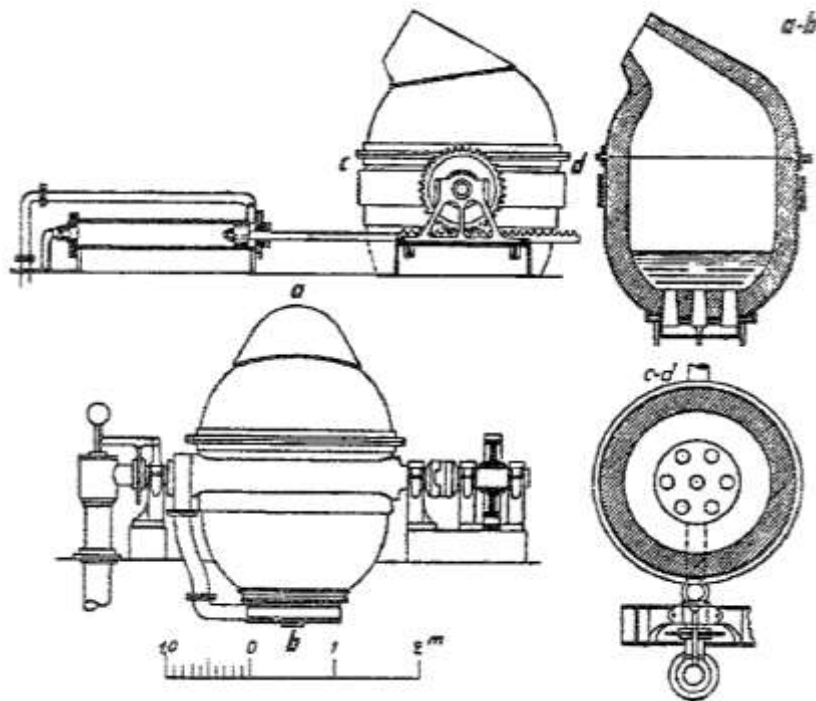
Ha a kavaró acélglyártás technológiai színvonalát összevetjük a tudomány addig elért eredményeivel, akkor érthető az a nyomás, ami a vaskohászati tudományra és gyakorlatra nehezedett az acélglyártás korszerűtlensége miatt, és indokolt az az igyekezet, ami a korszerűsítés irányába megnyilvánult elsősorban Nyugat-Európában. Hiszen akkor már Stephenson mozdonyai 30 éve vontatják a személyvonatokat, gőzhajók szelik a tengereket, gázlámpák világítanak a nagyvárosok utcáin, távíró összeköttetés van Európa fővárosai között, már 20 éve működnek villamos generátorok, kerek gőztraktorok járnak a szántóföldeket. 1850-ben már ismeretesek voltak a mechanika, kinematika, áramlástan, termodinamika, energiamegmaradás, villamoságtan és mágnességtan alapvető összefüggései. Fraunhofer már felfedezte a Nap színekében az abszorpciós vonalakat, Fresnel igazolta a fény hullámtermészetét, Fizeau megmérte a fény terjedési sebességét, Doppler megfogalmazta a rezgéstani effektust. Champollion már megfejtette az egyiptomi hieroglifákat, a csillagászok az Uránus változásai alapján kiszámították a Neptunus helyét és meg is találták azt. Hazánkban is örölnék már gőzmalmok, áll a Lánchíd, vasút köti össze Pestet Váccal, gőzhajók közlekednek a Balatonon. Gábor Áron ágyúkat önt Sepsiszentgyörgyön. Az acélglyártók meg szerte a földkerekségen még mindig csak gomolyákat képesek glyártani. Kézenfekvő volt, hogy az acélglyártás csakis úgy léphet előre, ha két lényeges feladatot meg tud oldani, nevezetesen:

1. a nyersvasat folyékony állapotból folyékony állapotú acéllá frissíteni úgy, hogy ne legyen szükség kavaráásra
2. az acélt folyékony állapotban csapolni, és tetszés szerinti méretű öntecsekké (tuskókká) kristályosítani, hogy ne legyen szükség a salaktalanító és forrasztó kovácsolásra.

Csak az ipari forradalom végére alakultak ki a várt termelékeny acélglyártó technológiák, ekkor viszont az acélglyártás robbanásszerű fejlődéssel hozta be a nyersvasglyártás és képlékenyalakítás műszaki színvonalához, valamint a társadalom fejlettségéhez képest kétségkívül nagy elmaradást. Az új acélglyártó eljárások ugyanis nemcsak az ipari forradalom szenzációs befejező találmányai voltak, hanem évszázadra kiható tudományos metallurgiai újítások, amelyek elsősorban Henry Bessemer, Gilrich Thomas és a francia Martin testvérek (Pierre és Emil) nevéhez fűződnek.

## ***1.6. Acélglyártás nyersvasból szélfrissítéssel konverterekben***

Az acélglyártás forradalmi fejlődését Henry Bessemer angol vaskohász indította el 1855-ben, amikor kvarccal bélelt konverterbe (1.13. ábra) öntött 1200-1250° C-os folyékony nyersvasba levegőt fújtatott. A levegő oxigénjével frissített. A vas kísérei, elsősorban a szilícium oxidációja folyamán keletkező hő elegendő volt ahhoz, hogy a lefűtött (frissített) vas – a tulajdonképpen acél – 1600°C-ra melegedjen és folyékony állapotban maradjon. A nyersvasnak e célból elegendő szilíciumot kellett tartalmaznia. Ezt részben az ércminőség célszerű megválasztásával, részben az akkor már hőtechnikailag is megfelelően kézben tartható nagyolvasztó technológiájának szabályozásával sikerült elérni. A folyékony acél a konverterből tetszés szerinti alakú formába (kokillába) volt önthető. Az acél a kokillában dermedt meg (kristályosodott).



1.4. ábra Bessemer konverter

A Bessemer konverter (Bessemer-körte) fenékén légsák van, amely a tengelyen keresztül menő vezeték útján van összekötve egy fűjtatóval. A légsákból fűvókákon át áramlik a levegő a körtebe öntött nyersvason keresztül. A levegő oxigénje egy-egy adagot (7-8 tonna nyersvasat) 35-40 perc alatt frissített. Amíg a nagyobb teljesítményű kavarókemencék is naponta csak 10 tonna nyersvasat tudtak acéllá frissíteni, erre a Bessemer-konverterek 1 órán belül képesek voltak.

Megfelelő minőségű bessemeracél azonban csak foszforszegény nyersvasból volt gyártható, mert a savas bélés miatt nem volt lehetséges foszfortalanító bázikus salakot képezni. A nagyobb foszfortartalmú acélok viszont ridegek voltak és törtek. Gilrich Thomas, a jól képzett angol kohász, a Bessemer-körtét bázikus kémhatású dolomittal bélelte (1878-ban), és abban bázikus, mészdús salakkal kitűnően tudott foszfortalanítani. Eljárása gyorsan terjedt, elsősorban a lotharingiai foszforos ércek nagy foszfortartalmú nyersvasainak frissítésére. A Thomas-konverterekben a foszfor oxidációjával termelt hő a legfőbb hőforrás.

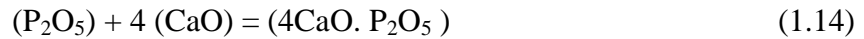
A konverteres frissítésben – eltérően a frisstúzi és kavaró eljárástól – nem a salakban oldott  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , hanem a fémbe oldott  $\text{FeO}$  játssza a főszerepet. A klasszikus elmélet szerint: a folyékony vasba befűvott levegő oxigénjével keletkező  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nyomban (in statu nascendi) átalakul  $\text{FeO}$ -dá:



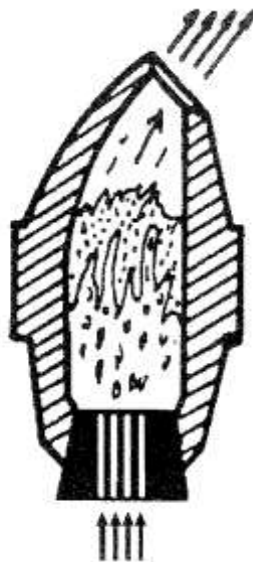
A  $\text{FeO}$  viszont oldódik a vasban:



A folyékony vasban oldott  $\text{FeO}$  oxidálja a vasban oldott elemeket:



A C –oxidáció – (21) reakció – jellemzője, hogy ennek során gáz alakú reakciótermékek, CO is keletkezik; feltéve, hogy megvan a CO-buborékok létrejöttének fizikai–kémiai feltétele. A feltétel: a fémolvadékban idegen fázis, szilárd vagy folyékony anyag, ill. gázbuborék jelenléte. Energetikai okokból eredően ugyanis a fémolvadékban CO-buborék csak idegen fázis felületén alakulhat ki. A szélfrissítéssel technológiában ilyen felület szinte korlátlanul adott: részben a befűvott levegő buborékjaiban, részben a salakkal és a konverterfallal való intenzív érintkezés révén (1.5. ábra).



**1.5. ábra** Bessemer- és Thomas-konverter fúvatás közben

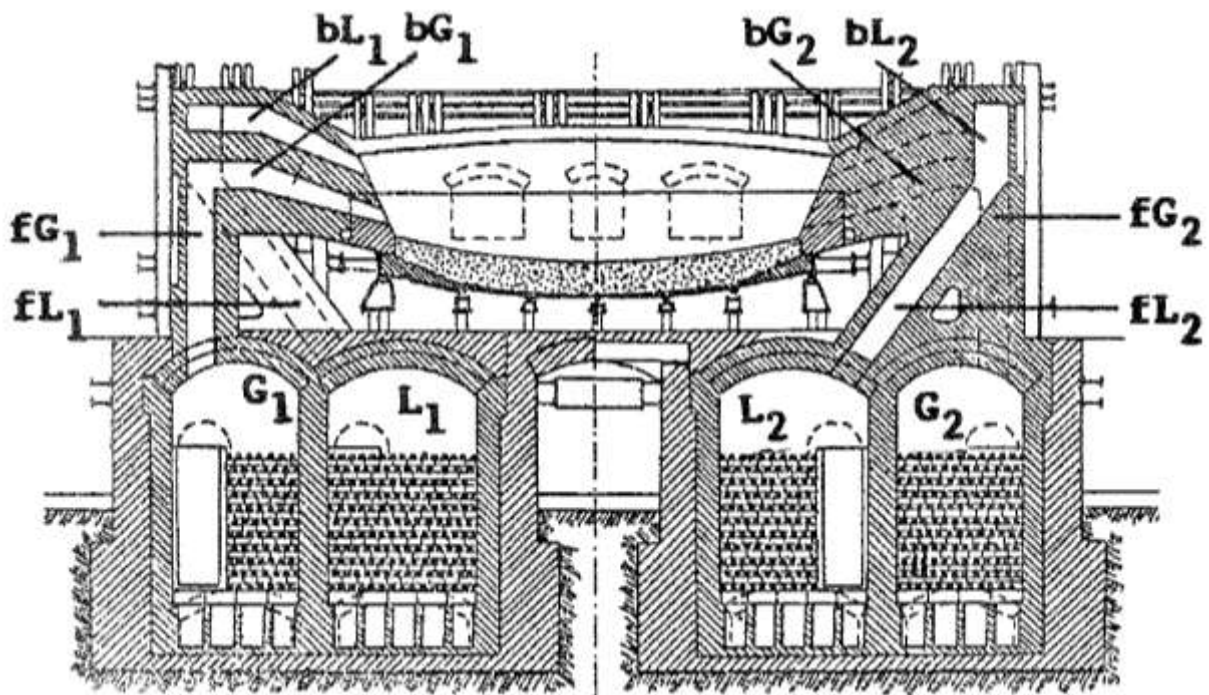
A szélfrissítéssel acélgártás – nagy termelékenységének köszönhetően – a századfordulóig (1900-1910-ig) az acélgártás uralkodó technológiája volt, de a fejlődés törvényszerűségének érvényesülése folytán át kellett adnia a helyét a Martin –eljárásnak.

### ***1.7. Acélgártás nyersvasból és acélhulladékból Siemens- Martin- kemencékben***

Az 1850 – es évek közepén a kavaró lángkemence levegőellátásában korszakalkotó változást vezettek be a francia Martin testvérek. A Siemens –féle regeneratív előmelegítővel a láng és a

füstgáz hőmérsékletét olyan nagyra tudták növelni, hogy nemcsak a nyersvas, hanem a lefrissült acél is folyékony maradt: csapolható volt.

A Siemens testvérek regeneratív tüzelési rendszerének lényeges berendezése két – tűzálló falazatú – kamra. Mindkettőben tűzálló téglából épített rácsozat van. A kamrákon keresztül felváltva vezetik el a füstgázt, ill. vezetnek be az égéshez szükséges levegőt. A füstgázból a rácsozat átveszi az érzékelhető hő jelentős részét, s amikor a levegőt vezetik át rajta, akkor a hő nagy részét a levegő veszi fel, s néhány száz fokra felmelegszik. A melegebb levegő magasabb égési hőmérsékletet eredményezett. A Siemens - kemencéhez a Martin testvérek dolgoztak ki acélgyártó technológiát. A kemence neve ezért Siemens-Martin kemence, az acélgyártó eljárásé martinacélgyártás, a termék martinacél.



1.6. ábra Siemens-Martin kemence gáz- és levegőkamrákkal

$G_{1,2}$ - gázkamra,  $L_{1,2}$ - levegőkamra,  
 $fG_{1,2}$ - gázfelszálló-akna, a gázkamrát és a tűzfejet köti össze,  
 $fL_{1,2}$ - levegőfelszálló-akna, a levegőkamrát és a tűzfejet köti össze,  
 $bG_{1,2}$ - gázbeömlő csatorna a tűzfejben,  $bL_{1,2}$ - levegő beömlő csatorna a tűzfejben

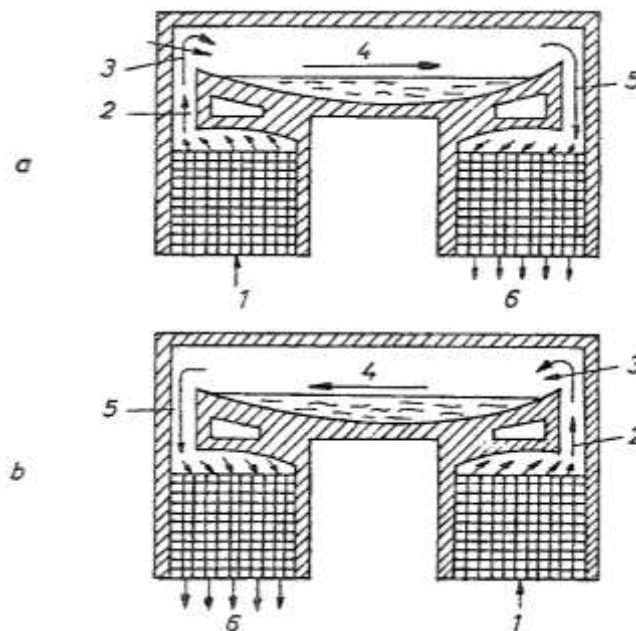
Az 1.6. ábra Siemens-Martin –kemence vázlatja. A kemencét kezdetben nagyolvasztói torokgázzal, később torokgáz és generátorgáz keverékével, majd egyedül generátorgázzal fűtötték. A levegőt és gázt egyaránt előmelegítették. A tüzelés elve a periódikusan váltogató irányú tüzelés.

Így, az első periódus folyamán – az előző periódusban felmelegített –  $G_1$  és  $L_1$  jelű gáz- ill. levegő kamrán, az  $fG_1$  és  $fL_1$  felszálló csatornákon keresztül a  $bG_1$  és  $bL_1$  égőnyílásokon beömlő és itt keveredő gáz és levegő reakciójában keletkező láng és füstgáz a medencében nyugvó betétnek és a medencefalazatnak áramlás és sugárzás útján a hő nagy részét átadja. Majd a  $bG_2$  és  $bL_2 \rightarrow fG_2$  és  $fL_2 \rightarrow G_2$  és  $L_2$  úton a magával vitt érzékelhető hő egy részét a falazatnak és a rácsozatnak leadva távozik a kemencéből. Ez a periódus meghatározott időtartamú vagy a beáramló levegőkamra ( $L_1$ ) lehűlésének megengedhető hőmérsékletéig tart. Ek-



kor váltószelepek működtetésével a fűtés iránya megváltozik; következik a második periódus. A folyamat most az első periódus fordítottja.

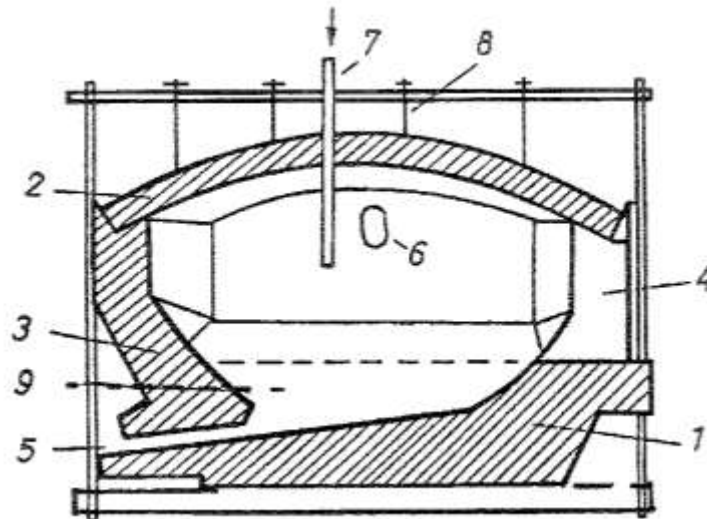
A Siemens- Martin – kemence az immár közel másfél évszázados története során lényeges műszaki fejlesztéseket élt meg. A termelékenység növelése és a termelési költségek csökkentése elsősorban a kemencetest befogadóképességének növelését és a tüzelés hatékonyságának fokozását követelte. A kezdeti 10-15 tonna befogadóképesség fokozatosan 50-60, majd 100-200, végül 500, sőt 900 tonnára növekedett. A tüzelés hatékonyságát kalóriadúsabb tüzelőanyagok felhasználásával és elégetésükhöz fokozatosan javított szerkezetű tűzfejek és égők kialakításával javították. Az 1930-as évektől a generátorgázhoz a tűzfejbe olajat vagy vízmentes kátrányt injektáltak, majd a generátorgázt teljesen kiváltották tisztán olaj, tisztán földgáz, ill. olaj és földgáz vegyes tüzeléssel. Olaj- és földgáztüzelés esetén a kemenceszerkezet egyszerűsödik, mert csak a levegőt kell előmelegíteni (1.16. ábra).



**1.7. ábra** Olajjal vagy földgázzal fűtött Siemens-Martin kemence fűtésének elve

Az utóbbi évtizedekben a lánghőmérséklet növelése és a metallurgiai folyamatokban keletkező CO-gáz elégetése céljából közvetlenül a tűzfejbe vagy boltozaton át benyúló lándzsával a kemencetérbe oxigént fúvatnak. A frissítés sebességét is fokozzák oxigénnel a salakba merített oxigénlándzsa alkalmazásával.

Az 1.6. és az 1.7. ábrák a kemenceszerkezet hosszmetsete. Az 1.8. ábrán a kemencetest keresztmetsetét látjuk az elégetés hatékonyságát növelő boltozati oxigénlándzsával.



**1.8. ábra** Siemens-Martin kemence keresztmetszete

1- kemencefenék, 2- boltozat, 3- hátsófal, 4- adagoló ajtó, 5- csapolónyílás, 6- földgáz vagy olajégő, 7- oxigénlándzsa, 8- boltozatfelfüggesztők, 9- fémfürdő, felette salak

Az olaj, földgáz és oxigén intenzív felhasználása a Siemens - Martin - kemence technikai ke-  
retei között igen nagy hatékonyságot eredményezett, de egyidejűleg szerkezeti tűzállóanyaga-  
ival szemben megnövekedtek a követelmények és ezek kielégítésének költségei olyannyira,  
hogy az oxigénes konverterek megjelenése után az 1960-as évektől már nem volt versenyké-  
pes.

A hagyományos martinacélgyártás alapvető technológiai folyamatai:

- folyékony vagy szilárd állapotú nyersvas, majd acélhulladék (ócskavas) és salakképző  
(pl. mész, mészkő) adagolása
- beolvasztás
- a fémolvadék frissítése vasoxid-dús salakkal
- elődeoxidálás
- csapolás
- dezoxidálás üstben.

A frissítés – a nagyobb hőmérséklet folytán – a kavarókemencében történő salakos frissítéstől  
eltérően játszódik le. A salakban oldott FeO egy része szabad (vegyületben nem kötött) álla-  
potban van jelen és ebből, a hőmérséklet függvényében több- kevesebb képes a vasolvadékba  
(fémfürdőbe) átmenni; a szabad FeO megoszlik a salak és a fém között [1.8].

A reakció főleg a kemencefenéken és oldalfalakon játszódik le, mert ezek a helyek kedveznek  
a CO-buborékok létrejöttének. A felszálló buborékok jól átkavarják a fémet és a salakot, ha-  
sonlóan a forrásban levő víz gőzbuborékaihoz. Erről a jelenségről kapta a karbonoxidáció a  
„fövés” elnevezést is.

A frissítés befejeztével a vasban sok oldott oxigén, FeO marad. Több mint amennyi a kész-  
acélban megengedhető. A többletet el kell belőle távolítani. Ez a folyamat a dezoxidáció, az  
oxigénelvonás, és ez olyan elemek adagolásával lehetséges, amelyeknek az oxigénhez való  
vegyrokonsága nagyobb, mint a ferrumé, és oxidterméke nem oldódik a vasolvadékban. Ilye-  
nek leggyakrabban elődeoxidálás céljára a Mn, végdeoxidálásra a Si és az Al.

A kén FeS alakban jól oldódik a folyékony vasban. Csak kis része oxidálható ki, ezért a kén-telenítés általában CaO – dal, cserebomlás útján történik:



A martinacélgyártás nem volt igényes a nyersvas összetételével szemben, mert a kemence bélése lehetett savas kémhatású kvarc vagy bázikus kémhatású dolomit, ahogy ezt a frissítő-finomító savanyú, ill. bázikus salak megkívánta. A kemencében nemcsak szilárd nyersvas, hanem magasabb olvadáspontú acélhulladék és ócskavas is megömleszthető volt, s így megnyitotta a használt acél és hulladék újrahasznosításának műszaki-technológiai útját.

A martinacélgyártás – a több órás adagidő miatt – nem volt olyan termelékeny, mint a szélfrissítéssel konverteres acélgyártás, mert a nyersvas a frissítő oxigént a salak közvetítésével kapta. A salak viszont részben az oxidáló hatású füstgázból, részben a rádagolt vasércből vette fel az oxigént. Bázikus bélésű kemencében mészdús salakkal hatékonyan lehetett foszfortalanítani és kén-teleníteni. Savanyú bélésű kemencében foszfor – és kénszegény nyersvas felett képzett SiO<sub>2</sub> –dús salakkal kitűnő képlékenységgel rendelkező, dinamikus igénybevételek jól ellenálló acél volt gyártható.

A Siemens-Martin – kemencékben gyártott acél mennyisége hamarosan elérte, majd többszörösen meg is haladta a szélfrissítéssel konverteres acélok mennyiségét (3.1. ábra), s noha az ezredfordulóhoz közeledve a martinacélgyártást felváltotta az oxigénes konverteres és elektrokemencés acélgyártás, a technikatörténet bizonyítja, hogy az SM – kemencék és a martinacélgyártás nélkül az egyetemes társadalom nem tarthatna a mai fejlettség szintjén.

A XX. század első felében a fejlődés felgyorsulásához a nyersvas az anyagi (materiális) alapot, a martinélgártás a technológiát adta.

A dicsőségben egyaránt osztozkodhatnak a Siemens testvérek és a Martin testvérek. Siemensek a gáztüzelésű regeneratív kemence konstrukciójának megalkotásával (1856), Martinék a metallurgiai ismeretekre és gyakorlati tapasztalataikra alapozott és szívós kivitartással kidolgozott technológiával (1864). Pierre Martin a technológiáért 1867-ben a Párizsi Világkiállításán elnyerte a Nagydíjat és az Arany emlékérmét.

## ***1.8. Acélgyártás tégelyben és elektrokemencében***

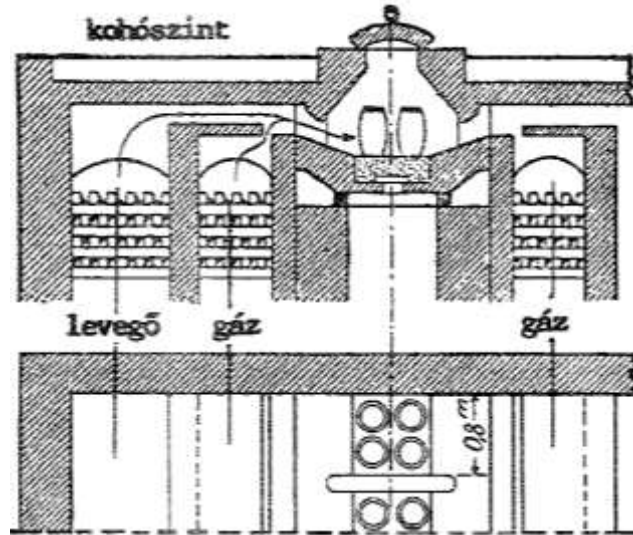
### **1.8.1. Tégelyacélgyártás**

Nyersvas és acél összeolvasztásával lehetséges acélgyártás kívülről fűtött kerámiatégelyekben időrendben megelőzte a kavarási acélgyártás feltalálását. Gyakorlati alkalmazása azonban csak szűk körre, nagyon kényes szerkezeti elemek és szerszámok acéljainak gyártására terjedt ki.

A tégelyacélgyártást 1740 – ben Benjamin Huntsman angol órásmester találta fel. Ez volt az első acélfinomító eljárás. Angliában már a XVIII. században elterjedt, és az angol szerszám-acéloknak nagy hírnevet szerzett.

A főleg tűzálló agyagból és őrölt grafitból formázott, hónapokig tartó szárítás után kiegészített tégelyekben a betét kiváló minőségű faszenes nyersvasból és frisstüzon frissített acélféltérmékből állt. Ebben kevés volt a foszfor, a kén és az oxigén. Az acél C –tartalmát a betétarányával pontosan be tudták állítani és a szükséges ötvözőelemekkel (Ni, Cr, W, Mo, V, Co) ötvözni is. A tégelyacélgyártással kezdődött meg az ötvözött acélok és nemesacélok (pl. szer-

számacélok és gyorsacélok) gyártása. A tégelyeket faszén-, később kokszfűtésű, levegőfűjtású kemencében, a regeneratív tüzelés feltalálása után Siemens-rendszerű lángkemencében (1.18. ábra) izzították, s bennük a betét híg folyóssá olvadt. Eközben a tégelyeket lezárva tartották, ezért külső szennyező anyag nem juthatott az acélba.



1.9. ábra Kohószint alá épített tégelyizzító kemence

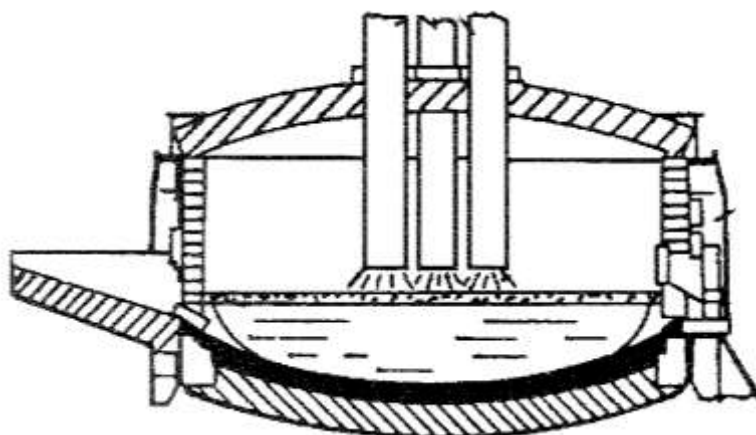
Egy-egy tégelyben 10...40 kg acélt olvasztottak, egy-egy kemencében 15....50 tégelyt izzítottak; az adagidő 4-5 óra volt.

A tégelyacélgyártást a XX. század elején – a tégelyek viszonylag magas ára és kis tartóssága miatt – az elektroacélgyártás fokozatosan háttérbe szorította.

### 1.8.2. Acélgyártás elektrokemencében (ld.bővebben az Elektroacélgyártás jegyzetben)

A századforduló éveiben a villamosipar ösztönözte az elektroacélgyártás kifejlesztését. A gyakorlati megoldás Emilio Stassano nevéhez fűződik, ő 1898-ban villamos aknáskemencében gyártott először acélt. 1900-ban szabadalmaztatta Héroult azt az ívkemencét, amely előnyös tulajdonságai révén gyorsan elterjedt. Az első indukciós kemencét Kjellin építette Svédországban 1900-ban.

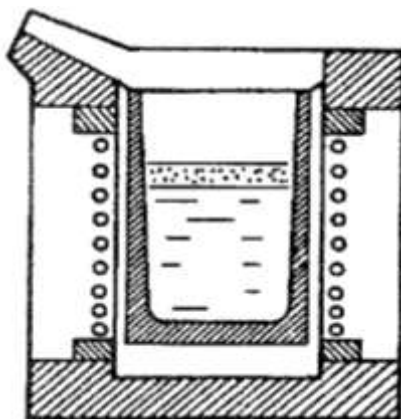
A villamos kemencék villamos ívvel vagy indukciós örvényárammal szolgáltatják a betét számára szükséges energiát (az 1.19. ábra egy háromfázisú ívkemence vázlatát).



**1.10. ábra** Háromfázisú ívkemence.

Az ív árama a fémfűdőn keresztül záródik, így azt közvetlenül is melegíti. A kemencék három elektróddal, elektródonként egy-egy fázissal dolgoznak. Az ívkemencékben ötvözött acélokat és nemesacélokat is gyártanak, ezért oxidáló és redukáló salakkal dolgoznak. Minthogy salakcserére is szükség van, a salak könnyebb eltávolítása érdekében a kemencék billenthetők.

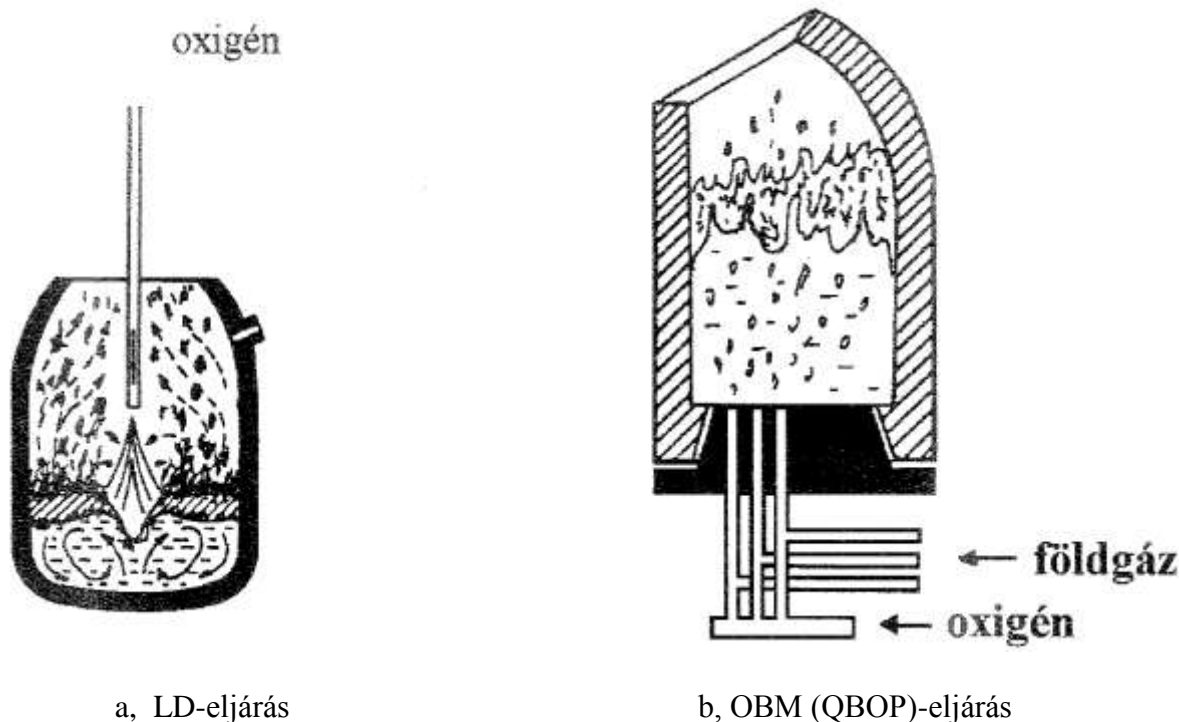
Az indukciós kemencében (1.20. ábra) a primer tekercs árama a rövidrezárt szekunder tekercs szerepét játszó fémbetétben örvényáramot hoz létre, és ennek Joule-hője felmelegíti és megolvasztja a betétet.



**1.11. ábra** Indukciós kemence

### ***1.9. Acélgártás oxigénes konverterben (ld.bővebben e jegyzet későbbi fejezeteiben)***

A Bessemer- és Thomas- féle konverterek technológiájából fejlődött ki az oxigénes konverteres acélgártás. A lényegi különbség, hogy itt levegő helyett gáz alakú oxigént fúvatnak a folyékony nyersvasba. Felülről fúvat az LD- eljárás (1.12.a ábra), alulról az OBM (Q-BOP)-eljárás (1.12.b. ábra). Dolgoznak kombinált – egyidejűleg alulról és felülről fúvató – konverterek is.



1.12.a-b ábra Felső ill. alsó fúvatásos oxigénes konverterezés

Az oxigénes konverteres eljárások nem igényelnek sem szilíciumdús, sem foszfordús nyersvasat, mert a tiszta oxigénnel lejátszódó reakciók hőjéből a rendszerben több marad, mint a levegővel fúvató konverterben, amikor is a hő jelentős hányadát a nitrogén magával vitte.

Az LD- konverterbe vízhűtésű lánzsával fúvatják be az oxigént és gyakran a salakképző mészpórt is. Az OBM- (Amerikában Q-BOP) konverterbe fenékfúvókákon keresztül jut be az oxigén. Az oxidációval járó hő azonban a fúvóka beömlő nyílása körül rövid időn belül tönkre tenné a tűzálló falazatot, emiatt hűtésről is gondoskodni kell. Ezt úgy oldják meg, hogy egyidejűleg endoterm kémiai folyamatokat is létrehoznak. Földgáz vagy olaj befúvásával a szénhidrogének bomlási hőigénye,  $H_2O$  vagy  $CO_2$  befúvásával a disszociáció hőigénye vonja el az oxidációs hő egy részét.

A frissítés fizikai és kémiai folyamatainak lényege megegyezik a szélfrissítéses eljárásokéval.

### 1.10. Acélgyártás direktredukciós termékekből

A bucakemencék felső felében és a nagyolvasztók aknájának felsőbb zónáiban az érc vas-oxidjait a felszálló  $CO$ -gázok redukálják. A reduktum vasszivacs, közbenső termék, amely a bucakemencék alsó felében acélmasszává lágyl, a nagyolvasztó medencéjében  $C$ -felvétel után nyersvassá olvad. Ha a vasszivacsot a bucakemencéből vagy nagyolvasztóból kiemelték volna, darabos meddővel kevert vashordozó anyagot nyertek volna amelyben a ferrum 85-90% -a fémesen, a többi hányada vas-oxid alakban van jelen. Ezt megolvasztva vasolvadék és felette a meddőből és vas-oxidból álló salakolvadék keletkeznék.

A fenti feltételezés a modern vaskohászati technológiákban megvalósult: ez a vasszivacs gyártás. Vasdús, kevés meddőt tartalmazó darabos ércből vagy darabosított érc-koncentrátumból korszerű berendezésekben ( pl. aknás kemencékben, forgó dobkemencékben, redukáló kamrákban) kiváló minőségű vasszivacsot redukálnak, s ez az elektrokemencék kedvelt betétanyaga. A vasszivacsot szokásos direktredukciós terméknek, magát a gyártási eljárást

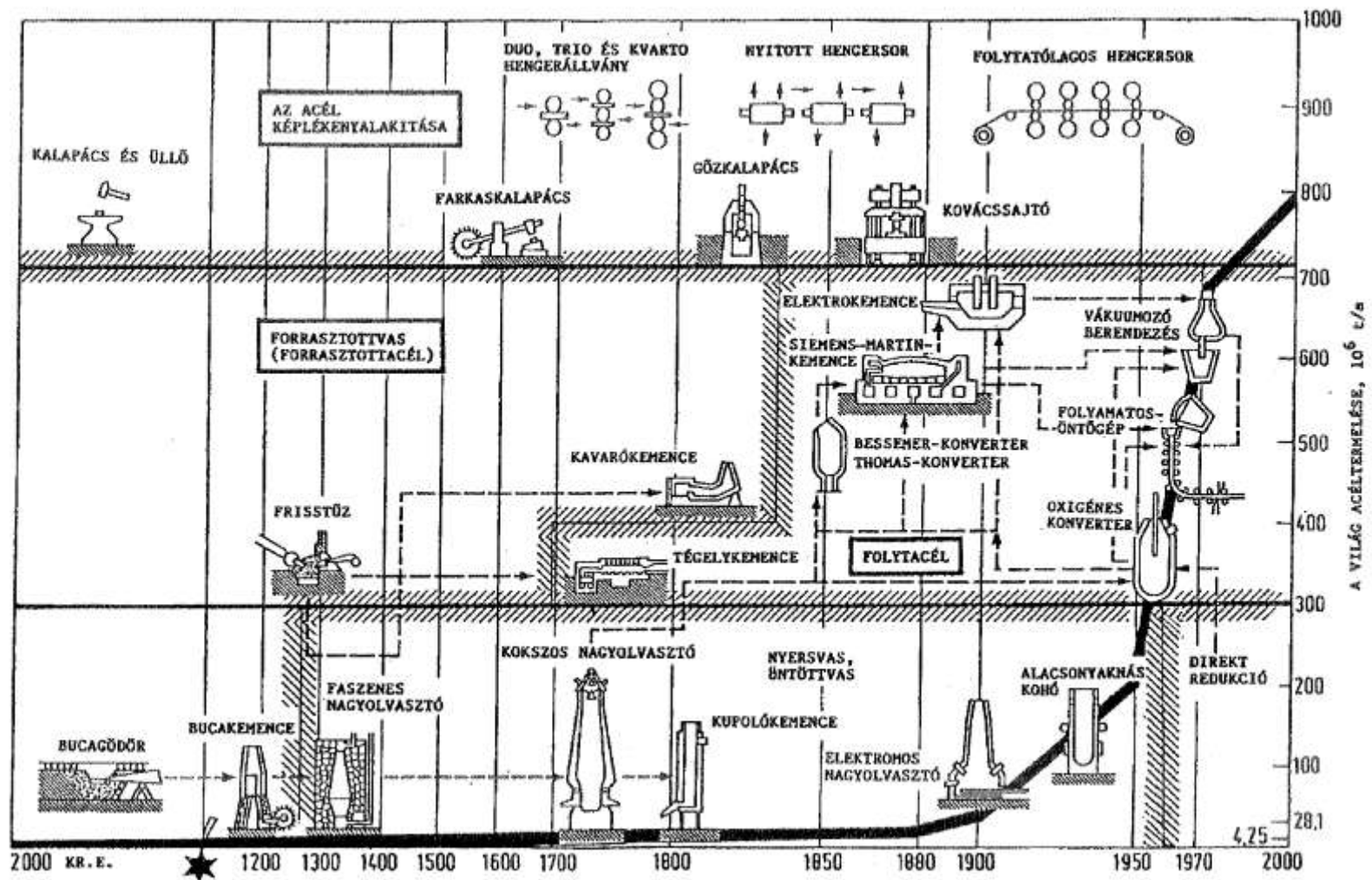
direktredukciónak nevezni. A „direktredukció” fogalomkörbe azonban nemcsak vasszivacsgyártás tartozik. A gyakorlat ugyanis a vasércből vagy vas-oxidokat tartalmazó anyagokból ferrumot kiredukáló technológiáknak több változatát különböztetik meg:

- A vaskohászati gyakorlat és tudomány ez idő szerint a kokszos nagyolvasztós nyersvasgyártáson kívül minden más vasredukáló technológiát direktredukciós eljárásnak tekint, függetlenül attól, hogy milyen halmazállapotú a kiinduló érc vagy vashordozó anyag, milyen a folyamatok sorrendisége és milyen halmazállapotú, mekkora C- tartalmú a kinyert vas.
- Nemcsak a kokszos nagyolvasztó terméke nevezhető nyersvasnak, hanem minden folyékony halmazállapotú 2-3 % C- tartalmú direktredukciós termék, amelynek C- tartalmát az acélgégyártás során csökkenteni kell (azaz frissítéssel dolgozható fel acéllá); ha a C- tartalom viszonylag kicsi (< 2 %), akkor acélfélterméknek is nevezhető.
- Noha az „olvadékredukció” elnevezés magyar értelmezése szerint elsősorban a folyamat mechanizmusára utal, nem arra, hogy a végtermék folyékony, a hazai és nemzetközi gyakorlatban ez az elnevezés (Schmelzreduction, smelting reduction) terjedt el azokra a technológiákra is, amelynek első lépcsőjében a redukció kisebb hányada szilárd állapotban játszódik le, de olvadék állapotban fejeződik be.

### ***1.11. Az acélgégyártás és a kapcsolódó technológiai fázisok történetének időrendi áttekintése***

Az 1.22. ábra több forrás felhasználásával készült, azok részbeni átalakításával és kiegészítésével. Az ábrát két vízszintes vonal három részre osztja. Az alsó harmad a ferrum ércből történő kinyerésének technológiáit vázolja fel fejlődésük időrendi sorrendjében; a középső harmad az acélgégyártásé; a felső az acélt feldolgozó, képlékenyalakító technológiáké. Az alsó harmadból két függőleges baloldaltól a bucagödröt és a bucakemencét az acélgégyártás harmadába emeli, mint ősi direktredukciós eljárást; a jobb szélén a modern direktredukciós eljárások vannak elkülönítve.

A középső harmadban egy megtört függőleges elválasztja egymástól a forrasztott- ill. folyt-acélt termelő technológiákat. A vastag diagramvonal a világ évenkénti acéltermelésének idealizált görbéje. Figyelemre méltó, hogy az évenkénti termelés tömege 1950-ben (60 évvel ezelőtt, a II.vh után) még csak 200 millió tonna volt, az ezredfordulón már 800 millió tonna, ma -2013-ban- pedig eléri a 1.5 milliárdnyi tonnát.



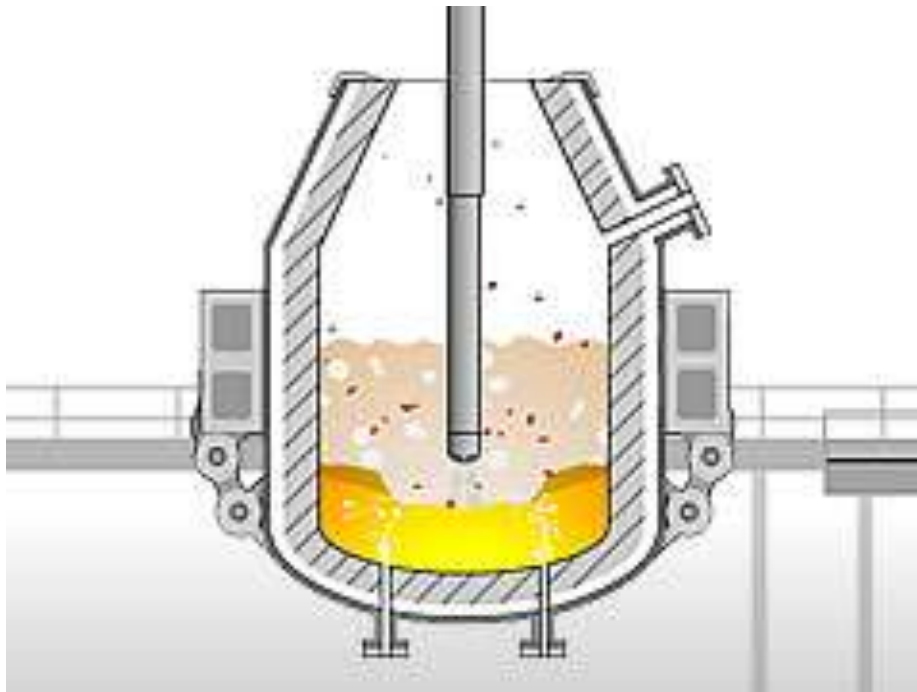
1.13. ábra Az acélgártás és a képlékenyalakítás technológiájának, ill. a világ acéltermelésének fejlődése



## 2. AZ LD-ELJÁRÁS KIALAKULÁSA, A KLASSZIKUS LD-KONVERTER SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE

### 2.1. Az LD-eljárás kialakulása

Az előző fejezetben az acélgyártás történetének rövid ismerete alapján egyértelmű, hogy az oxigénes konverterezés (2.1. ábra) a szélfrissítéses eljárások (az 1856-ban Sir Henry Bessemer találmányaként elterjedt Bessemer-eljárás, ill. az 1878-ban Gilchrist Thomas találmányaként elterjedt Thomas-eljárás) továbbfejlesztéseképp jött létre Linz-i és Donawitz-i szakemberek összefogásával →ennek eredményeképp született meg 1952-ben az LD-eljárás [2.1-2.9].

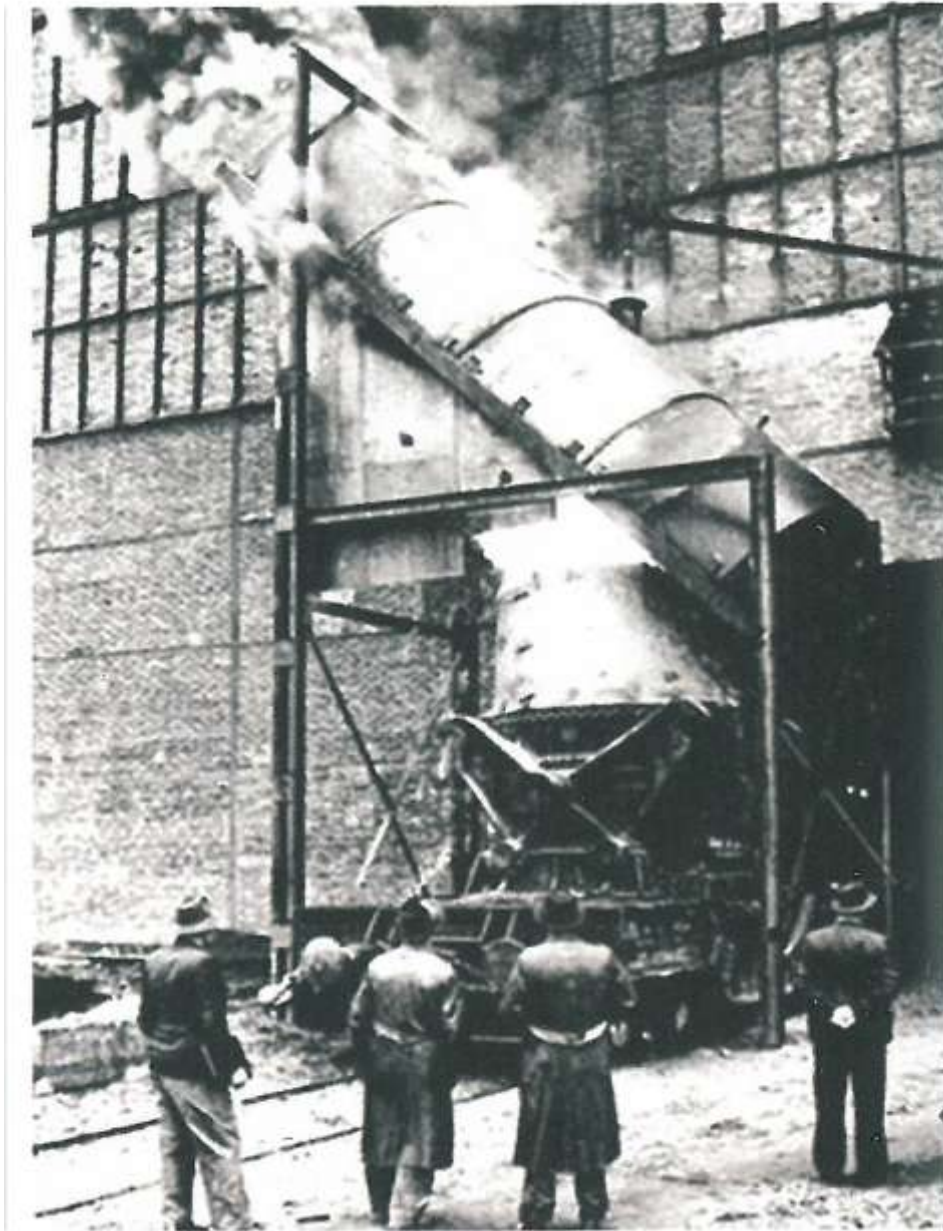


2.1. ábra Acélgyártás klasszikus LD-konverterben

A szélfrissítéses eljárásoknál az oxigénszükségletet a frissítőközegként befűjt levegő adja. Ahhoz viszont, hogy rövid időn belül a folyékony nyersvasból levegővel acél legyen gyártható, szükség van jelentős mennyiségben az oxidációs reakciók során felszabaduló reakcióhőre (Bessemernél a speciálisan nagy Si-tartalmú ércekből gyártott nyersvasak magas Si-tartalmának, Thomas eljárásnál a speciálisan nagy P-tartalmú ércekből gyártott nyersvasak magas P-tartalmának oxidációjából származó hőmennyiségre), egyébként a levegő ballaszt nitrogéntartalma oly mértékben rontja a hőmérsékletet, hogy a szélfrissítéses acélgyártás lehetlenné válik.

Az I.világháborút követően szabadalmaztatott Linde-eljárás tette lehetővé, hogy a levegő szétbontására sor kerülhessen, a levegő oxigénes dúsítása sokáig a Thomas-eljárás életben tartását átmenetileg biztosította, a speciális ércminőségek kifogyásával és a levegő csepp-

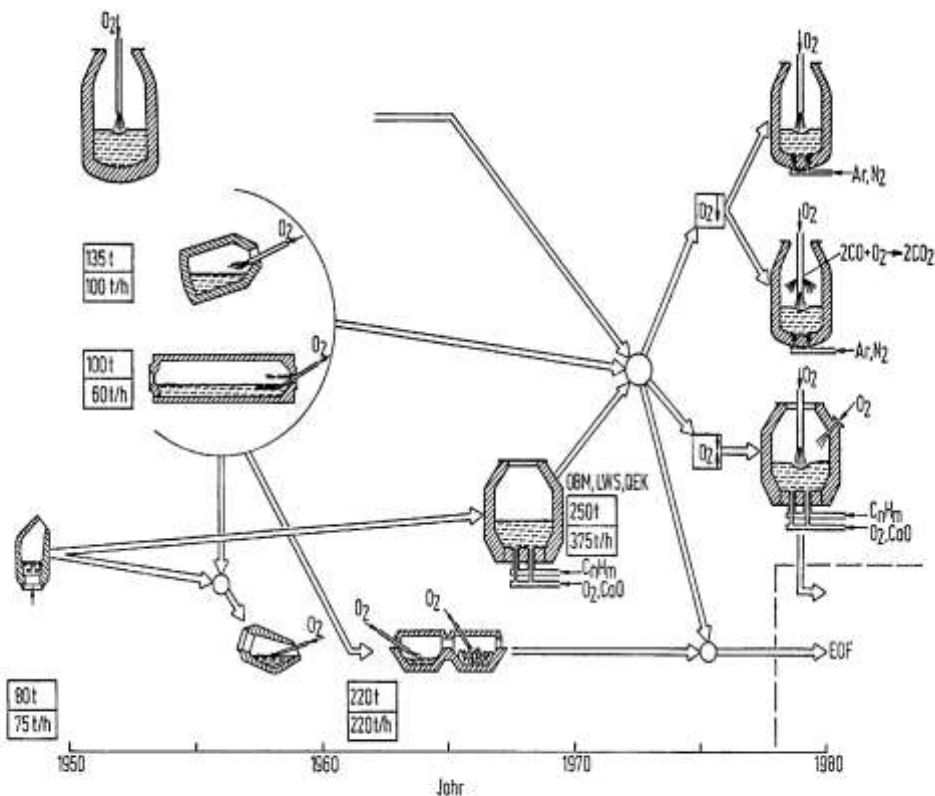
folyósításával azonban felgyorsultak azok a kísérletek, melyek 1952-ben az oxigénes konverterezés kifejlesztéséhez vezettek (2.2. ábra)



First LD steel plant in 1952, Linz, Austria

**2.2. ábra** Az első LD-konverter próbaolvasztásai Linzben [2.10]

Krieger professzor, a Leobeni Egyetem vaskohászati professzora az LD-eljárás megszületésének 50.évfordulóján [2.10] áttekintette az oxigénes konverterezés terén elért eredményeket, az eljárás szédületes karrierét (2.3. ábra).

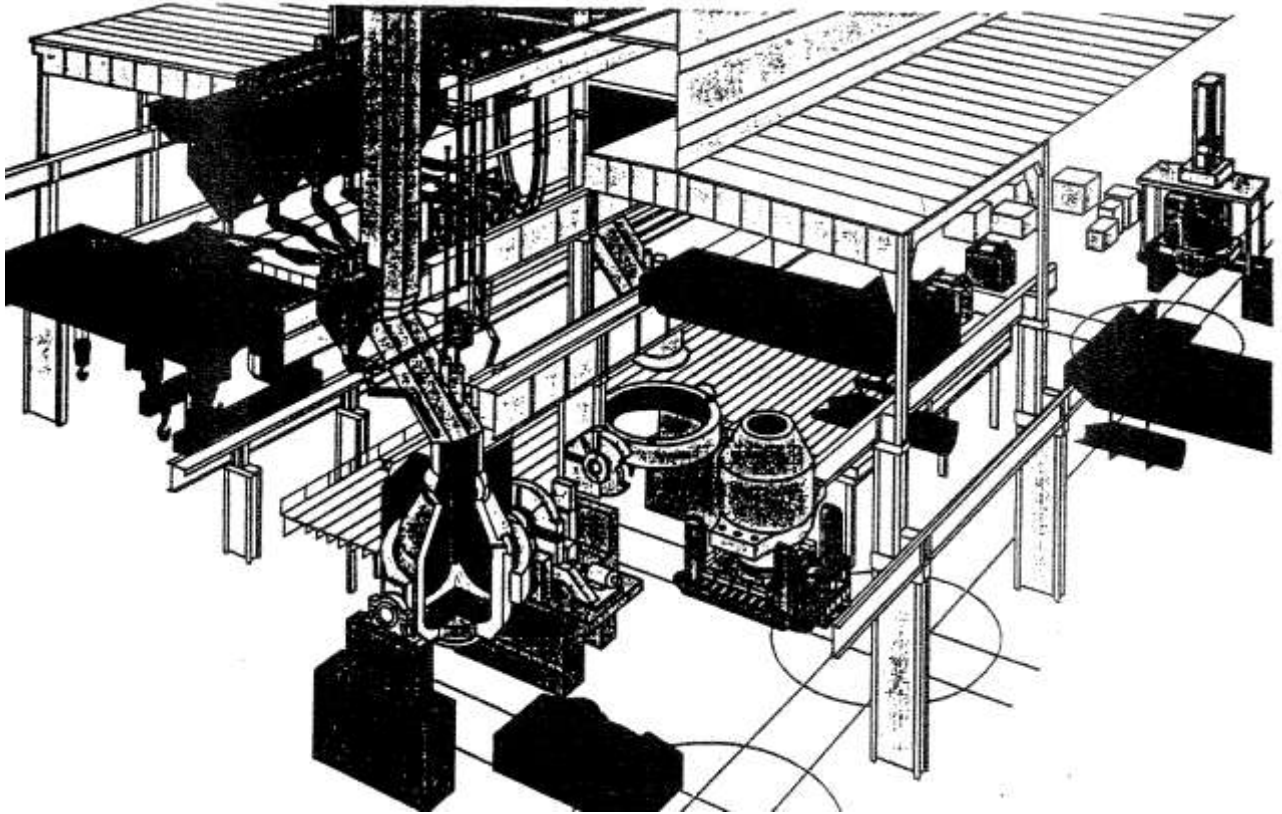


2.3. ábra Az oxigénes konverterezés fejlődéstörténete

Az oxigénes intenzifikálás, a Thomas-eljárás életben tartása mellett segítette a Rotor-eljárások, továbbá a tandem-kemencékben folyó martinacélgyártás versenyképességének javítását is. Idővel viszont ezek teljesítményének növelhetősége korlátokba ütközött (Thomas-eljárásnál 75 t/h értéknél tetőzött, Rotor-eljárásoknál 60-100 t/h értéken maradt, a hatékonyság tandem-kemencéknél 200-220 t/h értékig volt növelhető). Ezzel szemben az oxigénes konverterezés hatékonysága folyamatosan vált növelhetővé, ma már – számos egyéb, később tárgyalandó fejlesztésnek köszönhetően – max. 400-700 t/h érték is elérhető, így érthető, hogy a mai primér acélgyártó eljárásoknál két technológia életképes, a 15-30 %-nyi hulladékot feldolgozni képes oxigénes konverterezés, ill. a 100 %-nyi hulladékot olvasztó elektroacélgyártás (az előbbi, az oxigénes konverterezés a jelen tananyag témája, az elektroacélgyártás taglalása egy másik tananyagban szerepel).

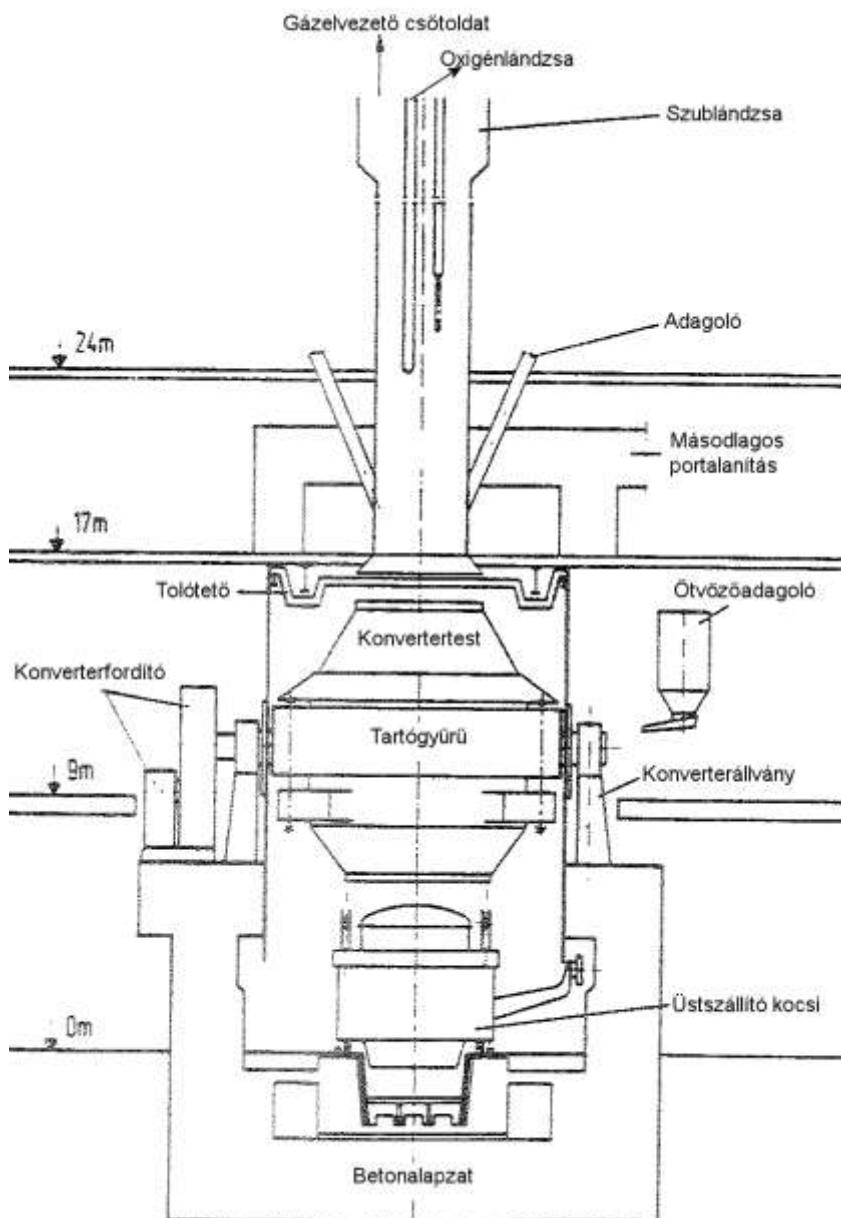
## 2.2. A klasszikus LD-konverter (konverterüzem) szerkezeti felépítése

Egy LD-konverterrel dolgozó konverterüzem felépítése azért bonyolult, mert maga a konverterezés egy kombinált vaskohászati üzemnek csupán egy része: magának az acélműnek kapcsolódnia kell a betétanyag-ellátáshoz (melyben kiemelt szerep jut a nyersvaskeverőnek, a betétanyagellátást – nyersvasbeöntést, hulladékadagolást, hozaganyag-ellátást – végző szállítási feladatoknak), ugyanakkor a nyersacélt gyártó konverternek kapcsolódnia kell a nyersacél kikészítését végző üstmetallurgiai egységhez is, s lehetőség szerint a folyamatosöntő-géphez is. Ezt mutatja be a 2.4. ábra, továbbá a jegyzet mellékleteként csatolt egyik videó is.



**2.4. ábra** Egy oxigénes konverteres acélmű szerkezeti elemei [2.11]

Maga a konverter egy speciális olvasztó-tégely (konverter vagy körte), mely egy erre a célra kialakított üzemi pódiumon (pódiumszinten) helyezkedik el, a föld szintjétől 6-9 m magasságban (2.5. ábra).



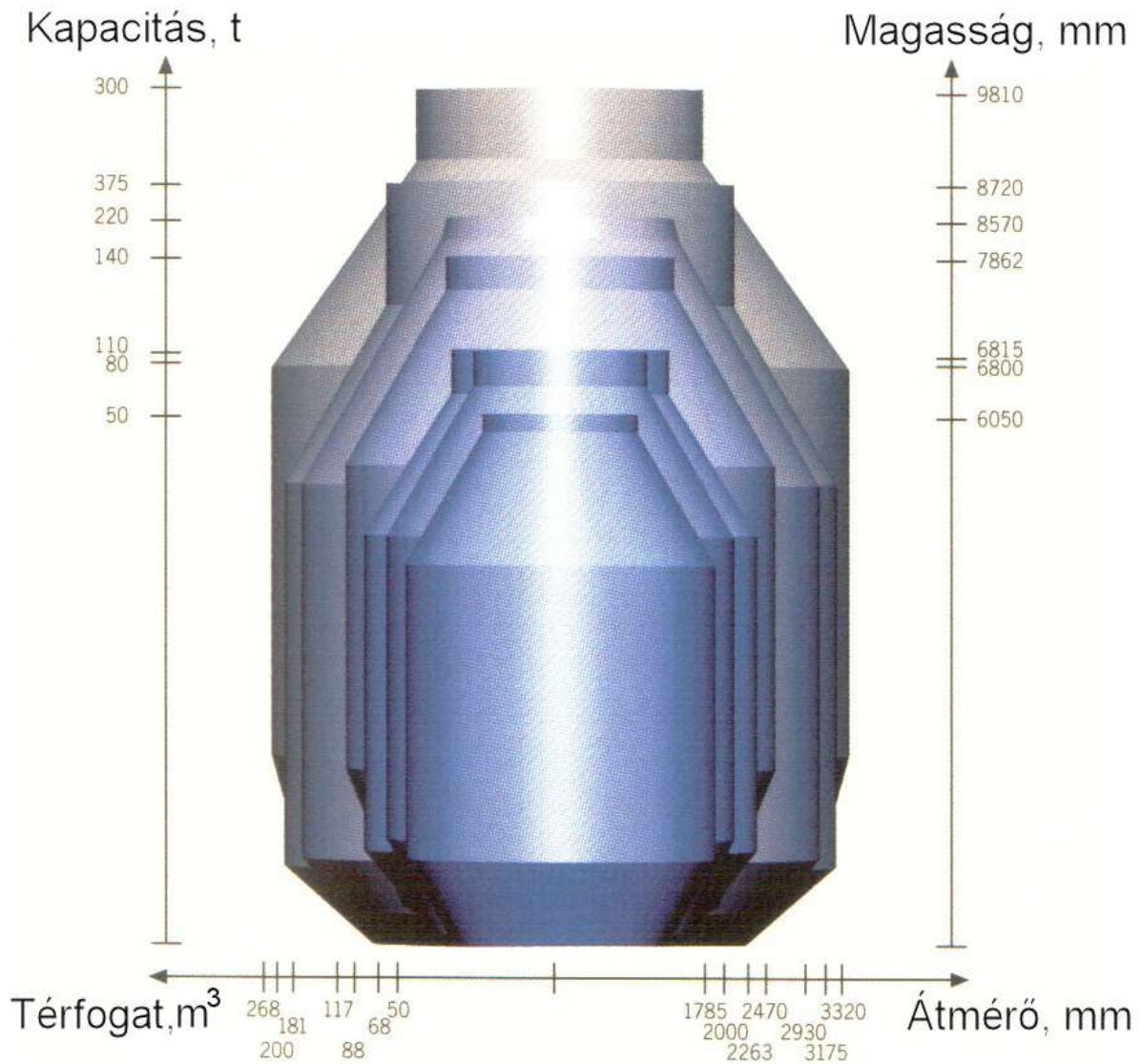
2.5. ábra Egy LD-acélműben a konverter felépítése [2.11]

A pódiumszint alatt (azaz a föld szintjén) történik a lecsapolt acél, ill. a konverterből kiborított salak szállítása az arra kialakított – betonlapzaton kialakított sínhálózaton mozgó, speciális vasúti kocsikra helyezett – speciális *üstök*ben. A pódiumszint felett – amint azt a 2.4 ábra mutatja, igen komoly vasszerkezeti biztosítással – a konverterezés szükségzerű kiegészítő szerkezeti elemek helyezkednek el: egy viszonylag zárt *bunkerrendszer* az adagolandó hozagok (érc, égetett mész, folypát, stb.) számára, az *oxigén-lándzsa* annak oxigénhez ill. hűtővízhez csatlakozásával együtt, amennyiben van, úgy a *szublándzsa*, továbbá a távozó *füstgáz* vezetését, kezelését és újrahasznosítását végző *berendezés*.

### 2.2.1. Konvertertest

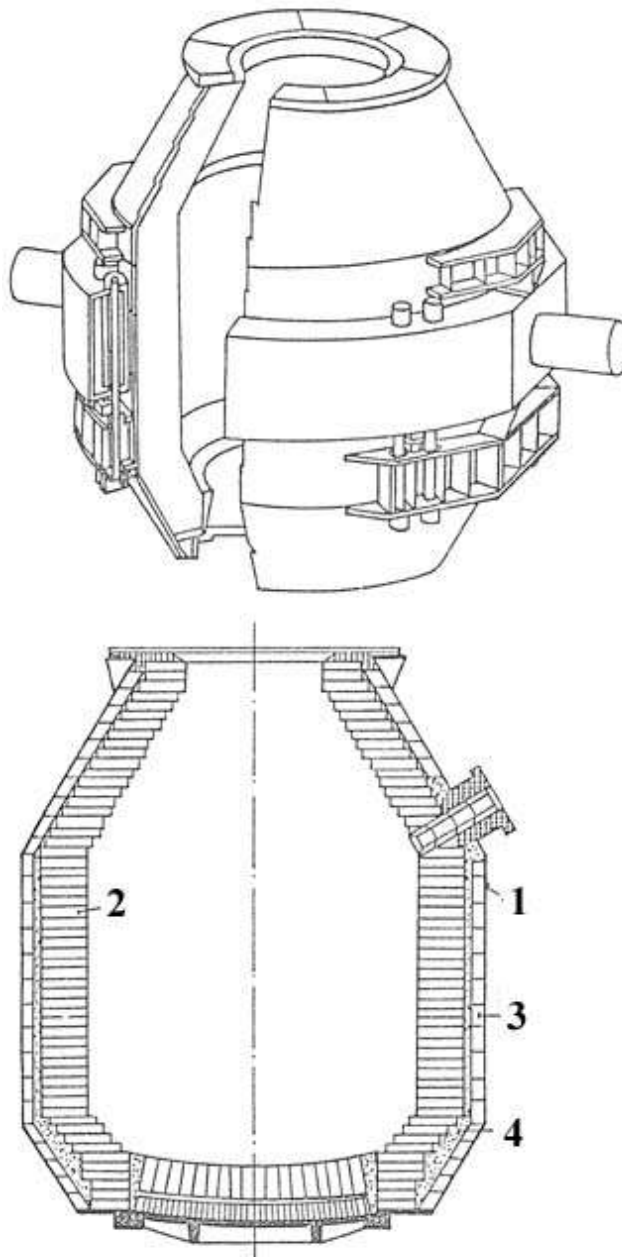
A konvertertest nagyszilárdságú, nagy folyáshatárú ötvözött (többnyire öregedésálló 13 CrMo 4-5 típusú) acélból hegesztéssel készül, felfelé és lefelé egyaránt szűkülő kör keresztmetsze-

tű edény (formájára utaló elnevezéssel körte). Méretviszonyai a kapacitástól függően a 2.6 ábra szerintiek.



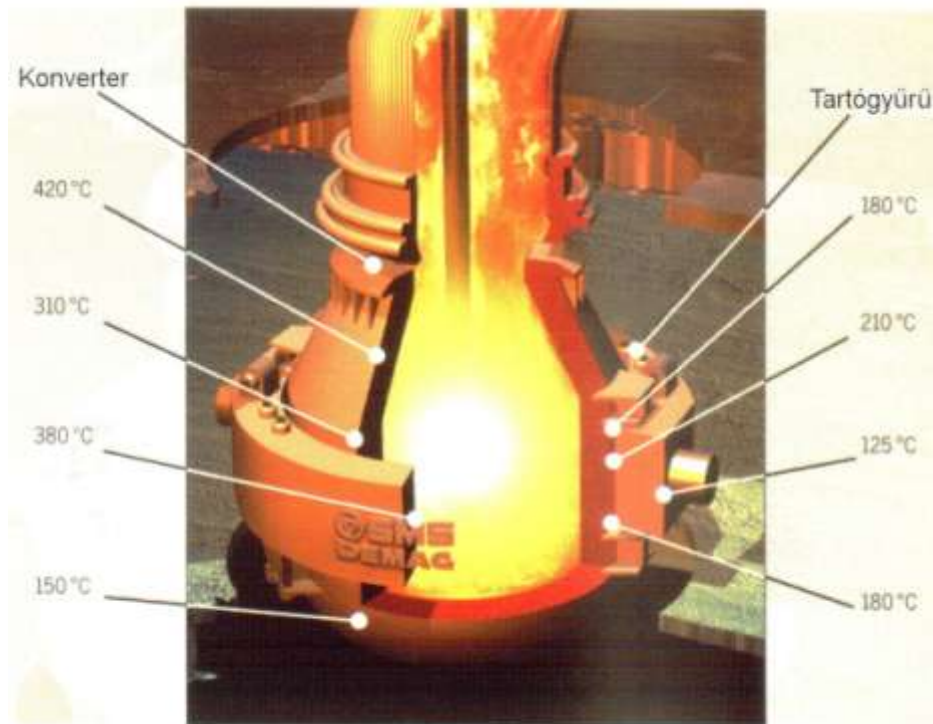
**2.6. ábra** A különböző kapacitású konverterek méretviszonyai [2.12]

A konvertertest hegesztéssel készül zárt fenékkal, de készülhet (főleg nagyobb kapacitású konvertertesteknél) le(be)szerelhető fenékkal. Akár így, akár úgy készül, a konvertertestet súlypontja feletti részen körülveszi egy tartó (hordozó) gyűrű (2.7 ábra)



**2.7. ábra** A konvertertest a tartógyűrűvel és azon a forgatást elősegítő tengelysapokkal  
 1- páncél, 2- munkabélés, 3- biztonsági bélés, 4- dögölőmassza [2.13]

A tartó (hordozó) gyűrű egyrészt – vízhűtés révén – a billentés mellett a konverter hűtésébe is besegít, másrészt segíti a fenéken keresztül befűvendő öblítőgáz-ellátást, s végezetül segítheti a gyorsabb konvertercserét is. A méretviszonyok meghatározásánál lényeges követelmény, hogy a hőálló acélköpeny szilársági értékei üzemeltetés közben egy határérték alá ne essenek, a 2.8 ábra szerinti hőmérsékleteket az acélköpenyen mérhető hőmérsékletek ne haladják meg.

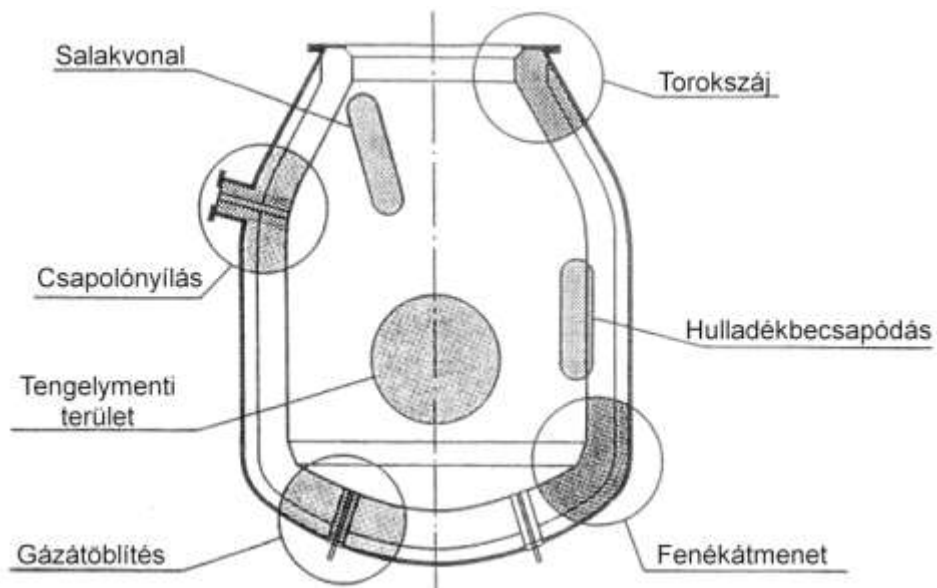


**2.8. ábra** A konvertertest különböző részein mérhető hőmérsékletértékek [2.12]

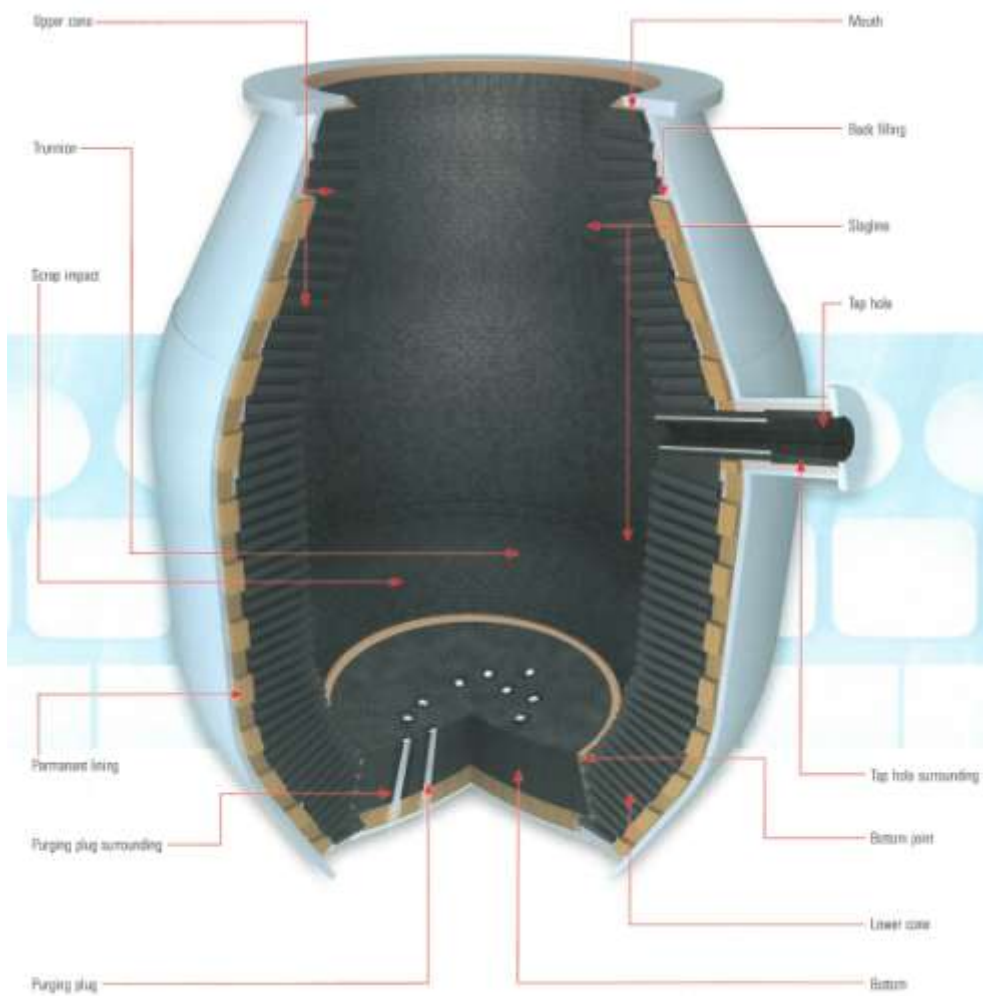
A konvertertest tűzállófalazattal bélelt, mégpedig ma leginkább 93-97 % MgO-tartalmú, C-kötésű téglákkal. Hasonló összetételű az alkalmazott döngölőmassza összetétele is. A 2.6 ábrán bemutatott téglafalazat azonban nem egy egységes téglafalazat, hanem 5-6 fajta téglából összerakott falazat, a különféle igénybevételek szerintiüket alapul véve. A 2.9. ábra mutatja a konvertertest különböző igénybevételi helyeit.

Nyilván figyelembe kell venni, hogy a fenék és az oldalfal találkozási pontjai kritikus helyek éppen úgy, mint a csapolás során kialakuló salakvonalai részek, a salakcsapoláskor a visszamaradó tapadványok miatt kritikus toroknyílás-rész, maga a csapolónyílás körüli falrész, a hulladék beadagolásának helyén a mechanikus koptató hatás miatti terület, de ugyancsak kritikus falrész a gázátöblítő téglákkal gyengített fenékrész. Ezekben a kiemelten kritikus helyeken más és más C-kötésű téglákat alkalmaznak, nyilván ezért sem egyszerű egy konvertertest falazása és karbantartása (2.10. ábra).



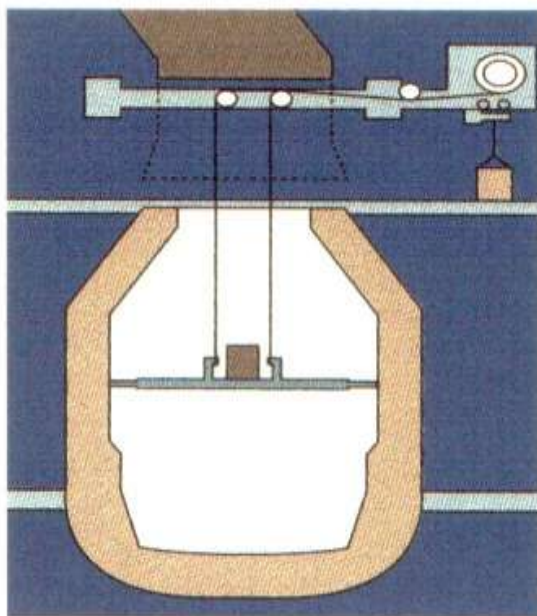


2.9. ábra A konvertertest falzatának legkritikusabb helyei [2.11]

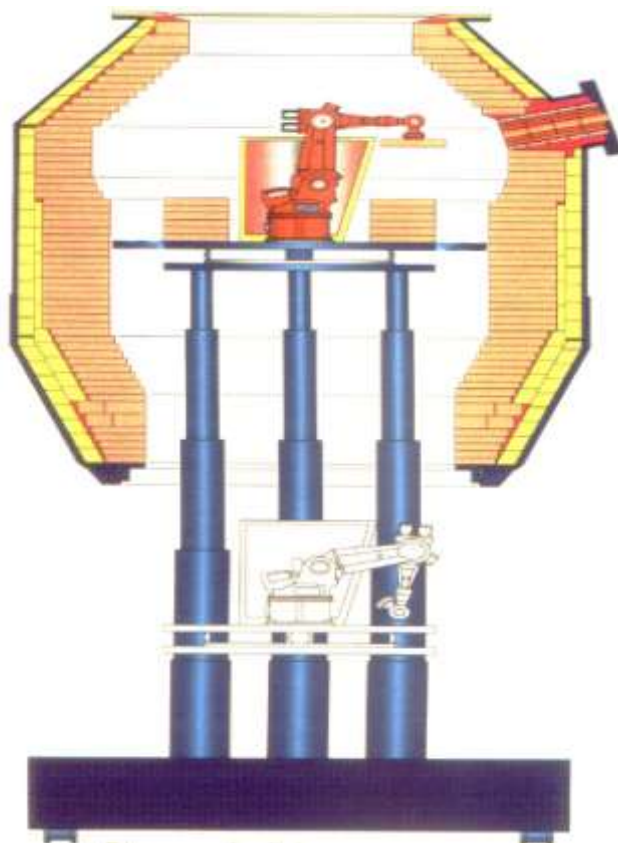


2.10. ábra A konvertertest legkritikusabb részeinek falazása

A falazat elkészítése akkor, ha zárt fenékkal készül a konvertertest, a szájnyíláson keresztül fentről kialakított munkaasztalról készülhet a konvertertest falazata (2.11. ábra), ha beemelhető fenékkal, akkor egy fenéken keresztül alulról feldugott pódiumról készíthető a falazat (2.12-2.13. ábra).



**2.11 ábra** Zárt fenékkal készülő konvertertest falazása [2.12]



**2.12. ábra** Konverter falazása beemelhető fenék esetén [2.12]

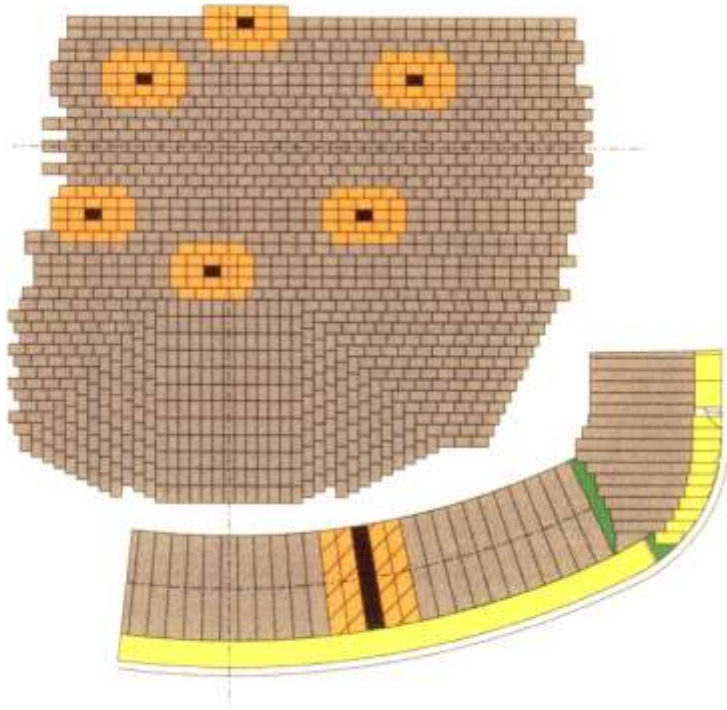


**2.13. ábra** Konverter falazatának kialakítása

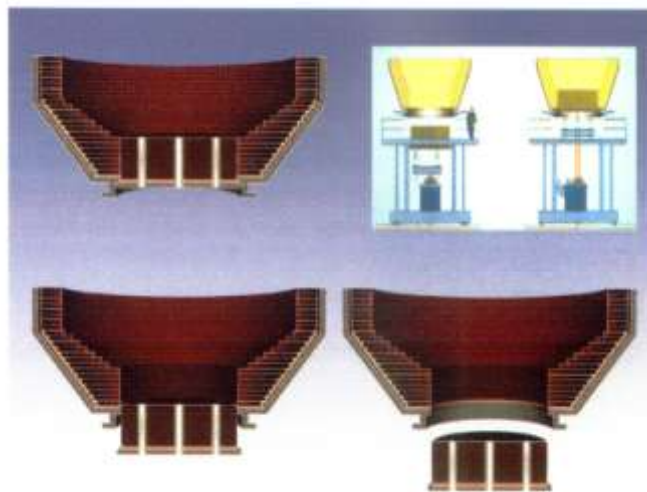
A beemelhető fenékbe éppen úgy, mint a zártfenékű konvertertest fenékrészébe speciális gáz-áteresztő öblítőkövek (2.14. ábra) kerülnek beépítésre (2.15-2.17. ábra), ezek a hordozó(tartó)gyűrűn keresztül eljuttatott gázzal (nitrogénnel vagy argonnal) végzik el olvasztás közben a tőlük elvárt öblítést-keverést.



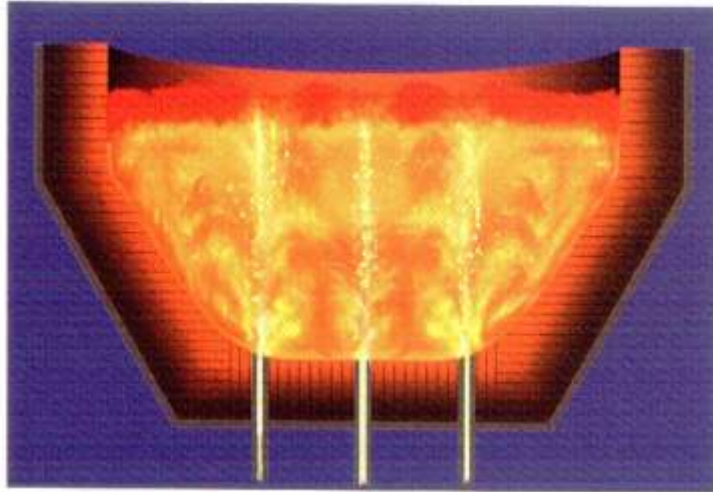
**2.14. ábra** A konvertertest fenékrészébe beépített öblítőkövek [2.14-2.15]



**2.15. ábra** A konvertertest fenékrészébe beépített öblítőkövek elhelyezése [2.14-2.15]

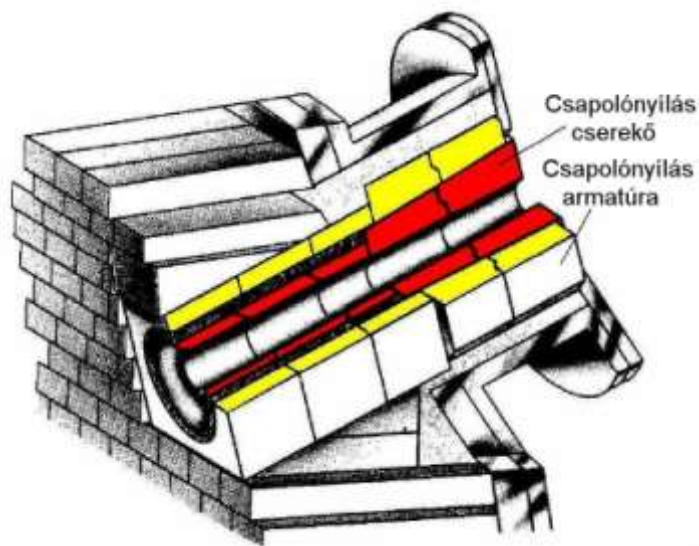


**2.16. ábra** A leszerelhető fenék felhelyezése öblítőkövekkel együtt [2.12]



**2.17. ábra** Fenéköblítés az oxigénes konverterekben [2.12]

A konvertertest falazás szempontjából is egyik legkritikusabb része a csapolónyílás körüli rész. A csapolónyílás egyik feladata, hogy kellő időben a gyártott nyersacélt az öntőüstbe engedje ki, ehhez egy jó tűzállóságú téglából kialakított csatorna (2.18. ábra) megfelelőnek látszik, viszont ugyancsak elvárt feladat a csapolónyílástól, hogy az az igen nagy FeO-tartalmú salakot csak minimális mennyiségben engedje az öntőüstbe, hiszen az üstmetallurgiai kezeléseknél ez egy nem kívánatos (nehezen módosítható összetételű) oxidos salak. A 2.10 ábra szerint a csapolónyílás olyan helyen helyezkedik el a konvertertesten, hogy még az acél kifolyása előtt az ún. elősalak átfolyása nem akadályozható meg, hiszen a konverterben lévő salak éri el előbb csapoláskor a csapolónyílást, s ha nem rendelkezünk megfelelő technikával, akkor a csapolás végén megjelenő (utó)salak mennyisége is jelentős mennyiségben kerülhet az öntőüstbe.



**2.18. ábra** A csapolócsatorna falazatának kialakítása a konverterben [2.13]

Salakkifolyást gátló technika például egy olyan keramikus golyó használata, amit egy speciális eszközzel juttathatunk az acélfürdő és a salak határfelületére csapolást megelőzően azért, hogy az a sűrűségének megfelelően a két fázis határán elhelyezkedve akkor érjen a

csapolónyíláshoz, amikor a salakkifolyás kezdődne. Elzárva a salakkifolyás nyílását csökkenthető az utósalak mennyisége, így talán egyszerűbb eszközökkel kialakítható a kisebb mennyiségben átfolyt primér salakkal is a kis FeO-tartalmú üstmetallurgiai salak. Ilyen célra használatos keramikus golyót mutat a 2.19. ábra, s noha az elv szép, a csapolónyílás nem ideális mérete esetén a keramikus golyó mellett is jelentős lehet a salakátfolyás, ezért ma már sokkal inkább jeladóval felszerelt salakvisszazáró berendezésekkel biztosítják a salakvisszatartást.

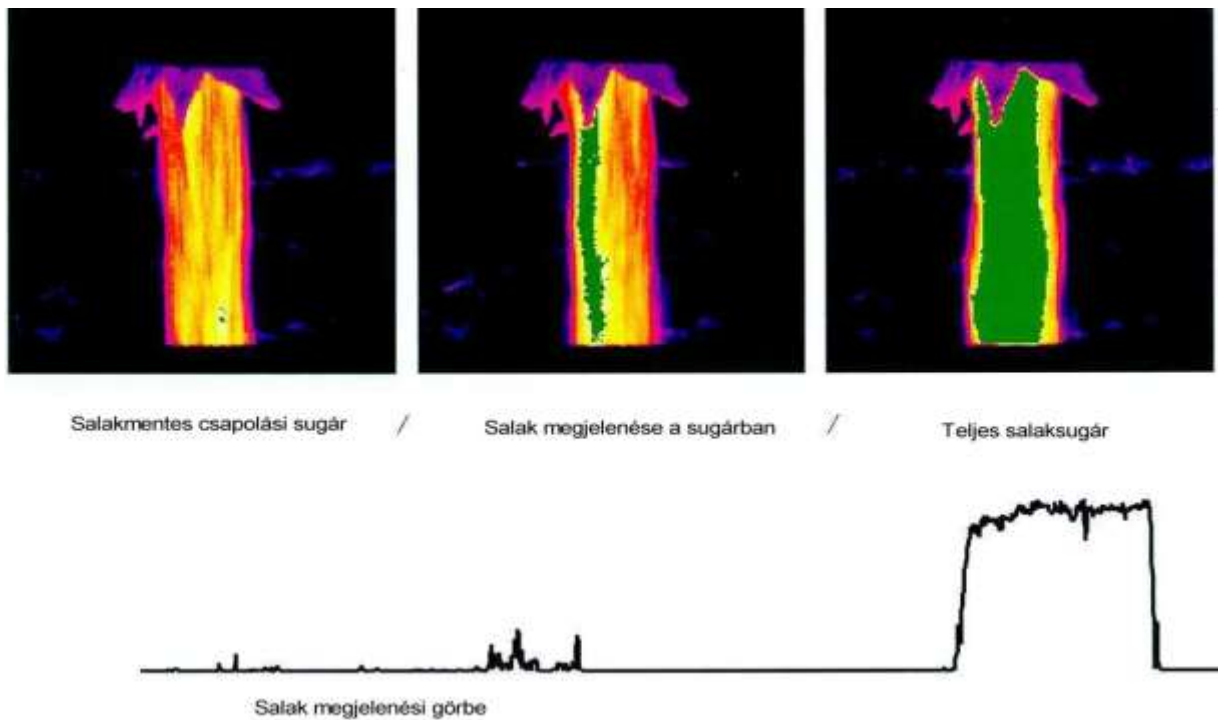


**2.19. ábra** Salakkifolyást gátló keramikus golyó [2.13]

Természetesen a világban sokféle technika szolgálja a salakvisszatartást, ezek között az infravörös kamera (2.20. ábra) is egyféle megoldás lehet, hiszen egy ilyen kamera egyértelműen jelzi (2.21 ábra) a salaknak a kifolyó acélsugarban történő megjelenését, viszont a jelek áttétellel intézkedéssé nem is olyan egyszerű.

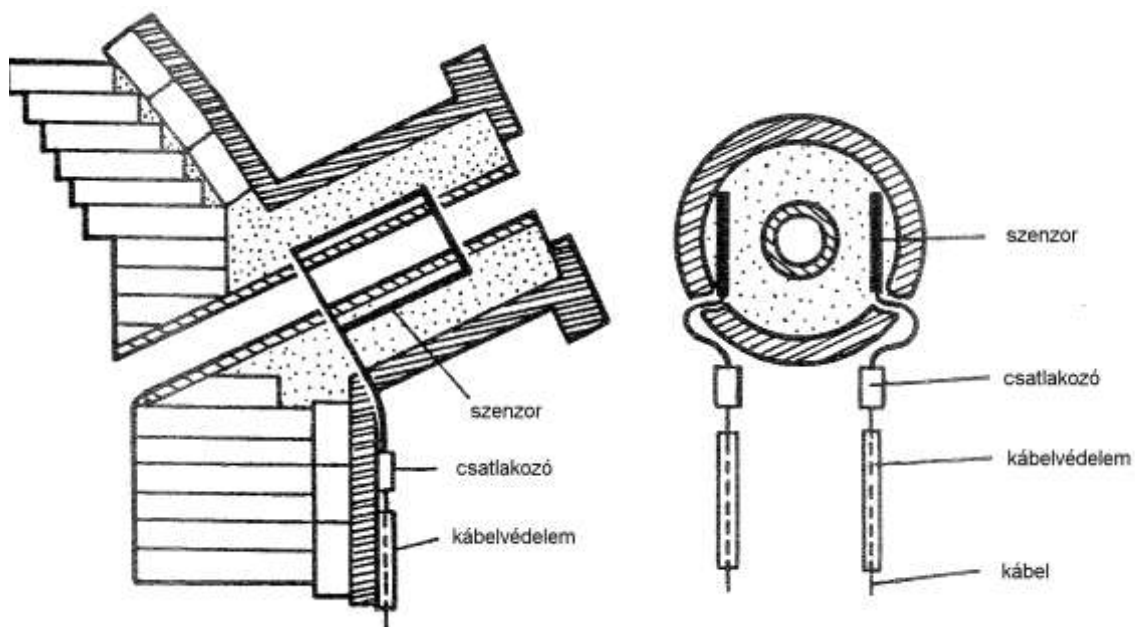


**2.20. ábra** Salakkifolyást dedektáló infravörös kamera [2.13]



2.21. ábra Salakdedektáló kamera salakkifolyást jelző jelei [2.13]

Segítheti a salakvisszatartást, ha a csapolónyílásban a 2.22. ábra szerinti módon egy elektromágneses salakfelismerő szenzort helyezünk el, ami a jeladás esetén vezérel egy olyan pneumatikus záró szerkezetet, amelyen keresztül  $N_2$  vagy sűrített levegő nyomja vissza a kifolyóni akaró salakot a konverterbe.

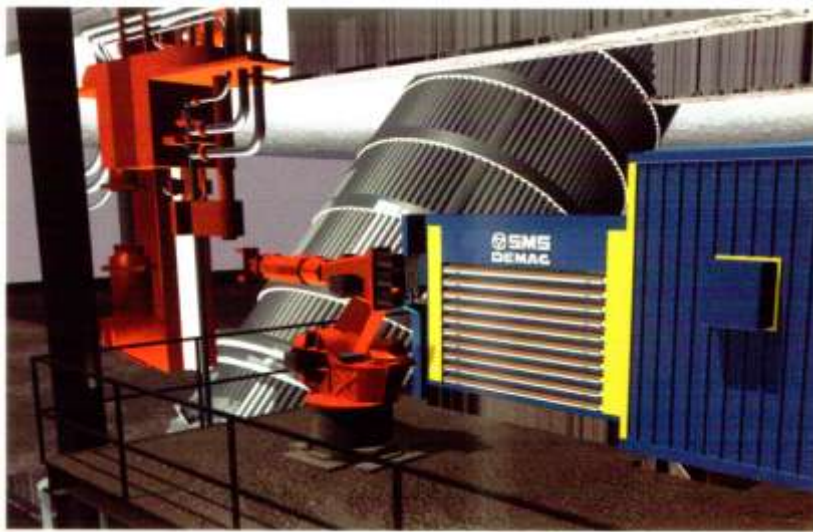


2.22. ábra Elektromágneses salakfelismerő szenzor beépítése a konverter csapolócsatornájába [2.13]

A konverter falazattartóssága (két átépítés között, azaz az aktuális kampányban csapolt adagok száma) 1000-5000 adag az öblítőkövekkel együtt, a fajlagos tűzállóanyagfogyasztás 1-2 kg/t acél. A falazatrészek közül a csapolónyílás tűzálló anyagai igénylik igényli a leggyakrabban javítást (ennek a falrésznek a tűzállóanyag-tartóssága 80-150 adag), természetesen az adagközi javítás igénye minden csapolást követően ellenőrizendő és szükség esetén az adagközi javítás elvégzendő az arra szolgáló torkrettáló (felszórásos falazatjavító) berendezésekkel.

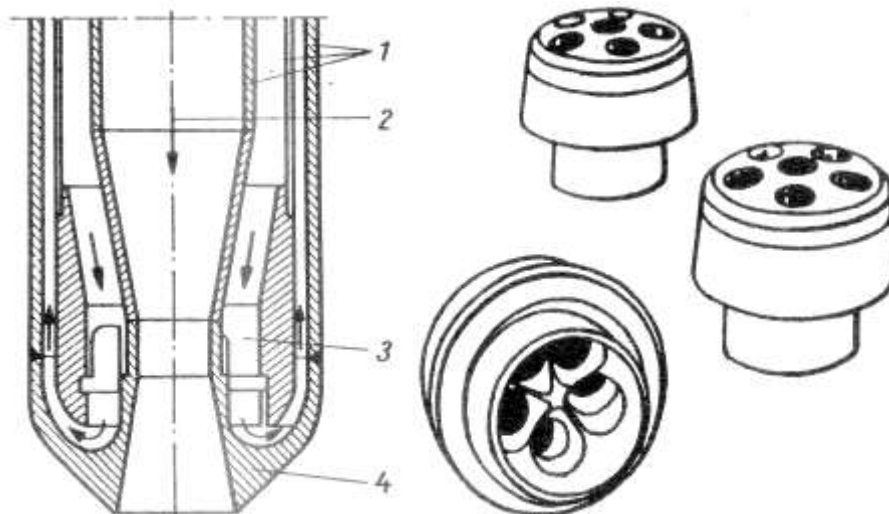
## 2.2.2. Oxigénlándzsa

Az oxigénes LD-konverterben a metallurgiai feladatok sorában a legfontosabb egy hatékony oxidáció, s ehhez oxigénlándzsán keresztül kell ~20 bar nyomással az oxigéngázt a konverterbe fúvatni. A 2.23. ábra az oxigénlándzsa mozgató berendezést mutatja.



2.23. ábra Az oxigénbefúvó vízűtéses lándzsa mozgása [2.12]

Az oxigénbefúvató lándzsa végén egy ráforrasztott réz fúvókafej helyezkedik el (2.24. ábra)

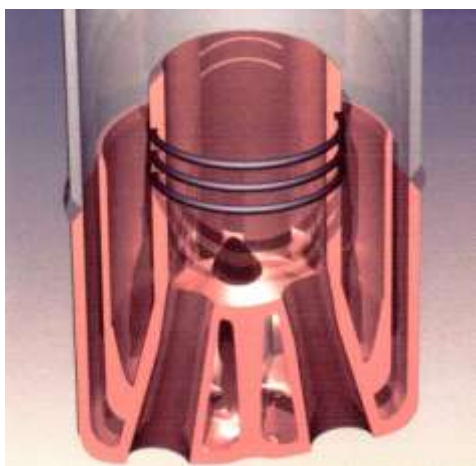


2.24. ábra Az oxigénbefúvató lándzsa végén elhelyezkedő fúvókafej

1- acélső, 2- áramló oxigén, 3- vízűtés, 4- rézfúvókafej [2.11]



A 2.24. ábra mutatja, hogy kisebb kapacitású konvertereknél (<30 t) egylukú Laval-fúvóka a használatos, míg nagyobb kapacitású konvertereknél a 3-7 lukú fúvókák . Rendkívül fontos a kellő hűtővíz biztosítása, hiszen enélkül a fúvókafej tönkremegy, a tartósság normál esetben egyébként 80-100 adag.



2.25. ábra A vízhűtéses rézfúvókafej használat előtti állapotban ill. használat végén [2.12]

### 2.2.3. Szublándzsa

Az oxigénes konverteres acélgyártásnál a folyamatszabályozás igényli, hogy gyártásközi mérési eredményekkel (hőmérséklet, C-tartalom, oxigénszint, összetétel alakulása, stb.) – ún. dinamikus szabályozással – segítsük az éppen aktuális adag gyártását, s ne kissé vakon egy statisztikai alapokon történő – ún. statikus – szabályozással. Ehhez persze mérési lehetőségre van szükség, ami konverterezésnél nem is olyan egyszerű,



2.26. ábra Próbavétel és hőmérsékletmérés az oxigénes konvertereknél szublándzsa hiányában [2.13]

Szublándzsa hiányában a hőmérsékletmérés, továbbá a mintavétel (2.26. ábra) a pódiumszint-ről történhet a konverternek a pódiumszint irányába történő forgatásával, hiszen csak így tu-

dunk hozzáférni a konverterben készülő acéolvadékhoz és a salakhoz. A konverter forgatása a fűtás megszakítását, valamint az oxigénlándzsa konverterből történő kiemelését igényli, ami idő- és energiaiga-veszteséggel jár.

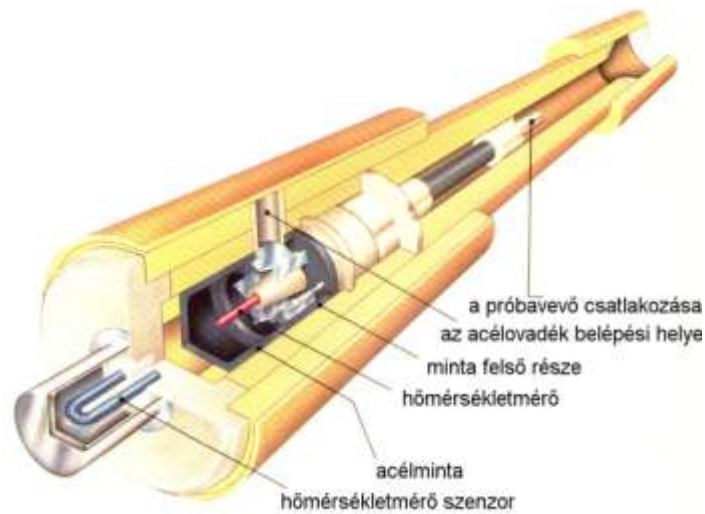
Ennek kiküszöbölése érdekében jelentett előrelépést a szublándzsa megalkotása és bevezetése, hiszen ennek a szublándzsának a fürdőbe juttatása az oxigénlándzsa mellett, vele azonos mozgatási irányban történhet az oxigénlándzsa kiemelése és a konverter forgatása nélkül (2.27. ábra).



2.27 ábra A szublándzsa mozgatása oxigén konverterezésnél [2.12, 2.16]

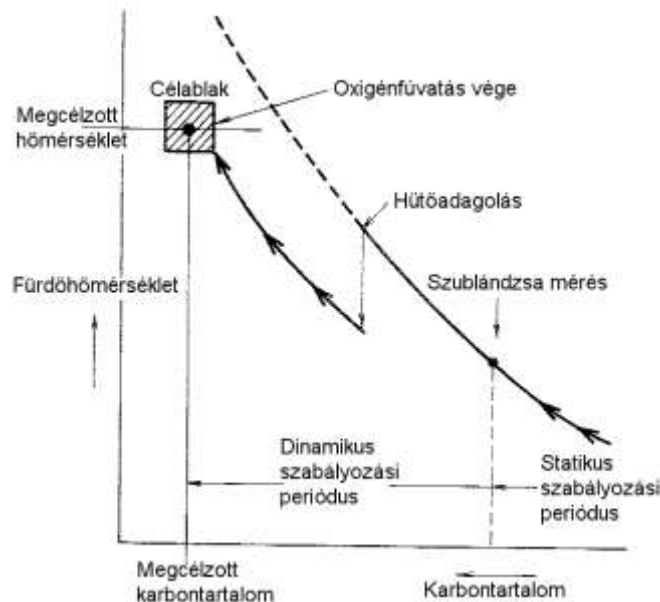
A szublándzsa fejében egy próbavételi szonda helyezkedik el (2.28. ábra), mely kívánság szerint mérheti egy arra alkalmas hőelemmel a fürdő hőmérsékletét, vagy akár – elektromotoros

erő mérése alapján – a fürdő oxigén-aktivitásának szintjét. A kristályosodási intervallum mérése alapján tájékoztató eredményt adhat a C-tartalom értékére nézve, s mintát szolgáltathat gyorselemzéshez összetételi vizsgálat céljára.



2.28. ábra A szublándzsa felépítése, mérési pontok [2.16]

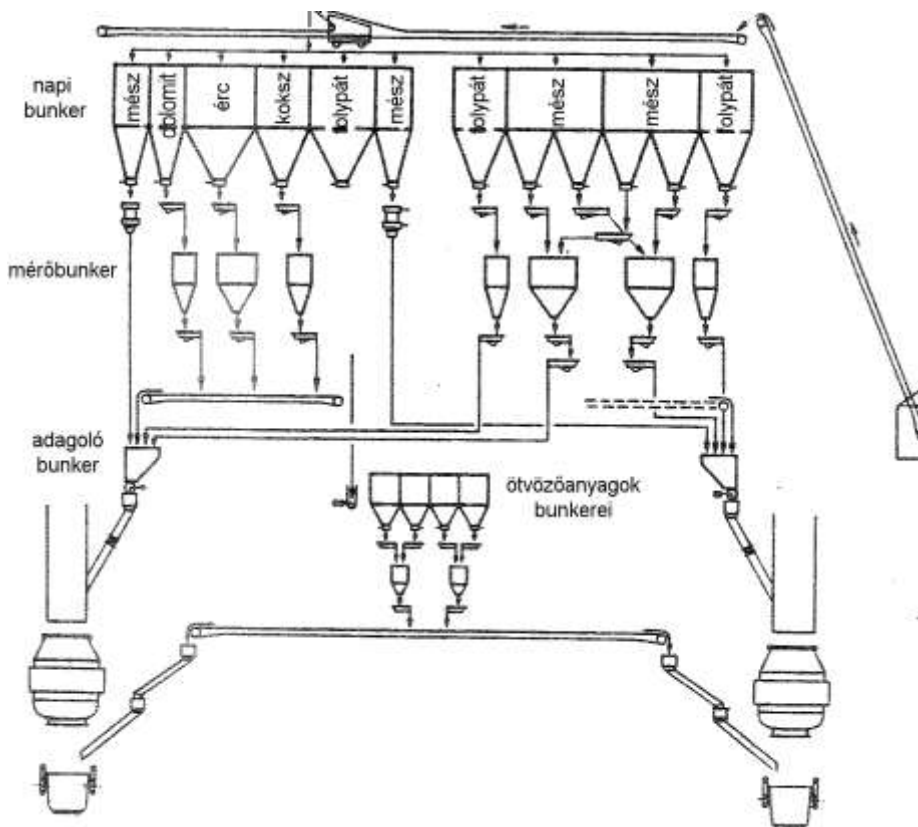
Az elmés konstrukció beszerzése és működtetése ugyan nem olcsó (ezért terjedése többnyire kifejezetten gazdálkodási kérdés), de bizonyított, hogy használata mind az adagvezetés (ezen belül elsősorban a C-tartalom és a hőmérséklet – mint találati célértékek – találati biztonságának javítása szempontjából), mind az energiagazdálkodás, mind a kapacitás- kihasználás tekintetében (mely összességében kifejezetten kedvező a költséggazdálkodás szempontjából is) rendkívül jelentős.



2.29. ábra A szublándzsa szerepe a dinamikus szabályozásban [2.16]

## 2.2.4. Bunkerrendszer

Acélgártás során a betétanyagok (nyersvas ill. acélhulladék) speciális nyervasöntőüstök ill. adagolókanalak segítségével juttathatók el – a darupályán mozgó gyors daruk segítségével – a konverterekhez, viszont sokféle egyéb anyag adagolóbunkerekből kerül a konverterbe és az öntőüstbe. Általában, egy bunkerrendszert alakítanak ki (2.30. ábra), amelyben az ún. napi bunkereket szalagberendezések, felvonók, vagy egyéb szállítási lehetőségek segítségével naponta töltik fel. Ezekből igény esetén mérőbunkerekbe szállítják a soron következő adagnál szükséges hűtőanyagot (ércet, salakot, ismert összetételű lágyacélt, stb.), salakképzőt (frissen égetett meszet, mészkövet, timföldet, folypátot, stb.), dezoxidáló- ill. ötvözőanyagot (koksport, FeMn-t, FeSi-ot, Al-darát, stb), ahonnan a szükséges anyagok az adagolóbunkereken át jutnak el a kívánatos időben a konverterekhez, üstökhöz.



2.30. ábra Bunkerrendszer a konverteres acélgártásnál szükséges segédanyagok biztosításához [2.11]

## 2.2.5. Füstgáz(konvertergáz)kezelés

Az oxigénes konverterezésnél jelentős mennyiségű füstgáz(konvertergáz) keletkezik, s a konverterből távozó konvertergáz jelentős mennyiségben tartalmaz port, mindez szükségessé teszi, hogy – noha egy acélműnek nem ez a legfontosabb feladata- energetikai, környezetvédelmi, gazdaságossági megfontolásokból a távozó konvertergáz elvezetésével, kezelésével, hasznosításával kellőképp foglalkozzunk.

A konverterből távozó konvertergáz mennyisége :  $\sim 70-75 \text{ Nm}^3/\text{t}$  acél  
összetétele:  $\sim 90 \%$  CO,  $\sim 10 \%$  CO<sub>2</sub>

A füstgázvezető csőbe bejutott hamislevegő révén a távozó konvertergáz felhígul, részben részleges utóégés következik be, ennek révén a felhígult konvertergáz mennyisége  $\sim 70-75 \text{ Nm}^3/\text{t}$  acél mennyiségre nő, összetétele változik:

65-70 % CO  
 15-20 % CO<sub>2</sub>  
 5-20 % N<sub>2</sub>

A távozó, felhígult konvertergáz hőmérséklete :  $\sim 2\,000 \text{ }^\circ\text{C}$   
 hőmennyisége:  $8\,000-9\,500 \text{ kJ/Nm}^3$

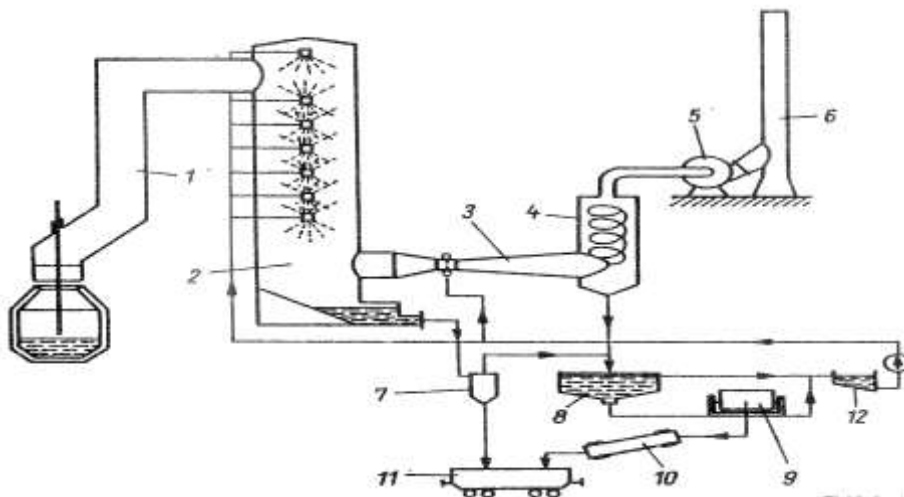
A távozó, felhígult konvertergáz portartalma :  $\text{max.}50 \text{ mg/Nm}^3$

A por igen finom, szemcsemegoszlása:  $\sim 80\%$   $<0,2 \text{ }\mu\text{m}$   
 $\sim 15\%$   $0,2-0,4 \text{ }\mu\text{m}$   
 $\sim 5\%$   $>0,4 \text{ }\mu\text{m}$

összetétele:  $>90\%$ -ban Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, ZnO, PbO

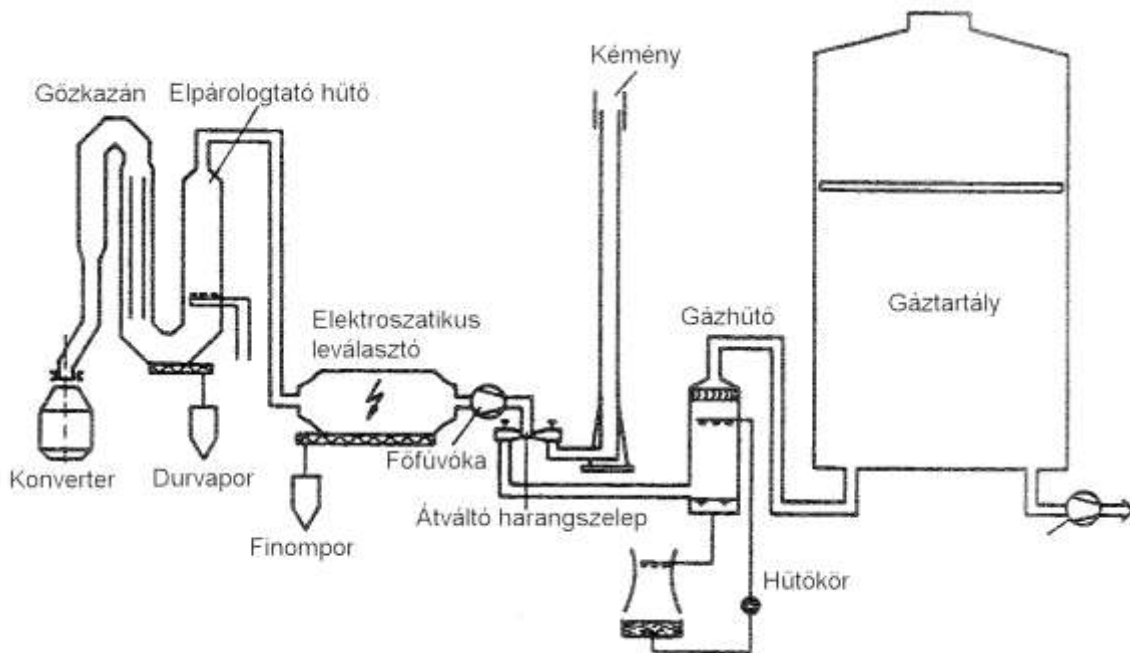
Elégetésmentes elvezetés esetén a távozó, felhígult konvertergáz porában jelentős mennyiségű a fémes állapotú anyag.

A konverterben keletkezett, majd távozása során felhígult, jelentős portartalmú konvertergázt hasznosítást megelőzően kezelni kell, portartalmának nagy részét le kell választani. A porleválasztás történhet nedves úton (2.31. ábra) , vagy száraz megoldással (2.32. ábra).



2.31 ábra A konvertergáz kezelése nedves tisztítással [2.11]

1- hulladékhő-hasznosító kazán, 2- hűtés vízzel, 3- Ventúri-tisztító, 4- porleválasztó, 5- szivóventillátor, 6- kémény, 7- hydrociklon, 8- sűrítő, ülepítő, 9- vákuumszűrő, 10- forgócső kemence, 11- zagyszállító kocsi.



2.32 ábra A konvertergáz kezelése száraz tisztítással [2.11]

Nedves porleválasztásnál az utánégetett távozó konvertergáz hőjének részleges hasznosítása egy hőhasznosító kazánban – gőzképződés által – történik, természetesen gondoskodni kell, hogy a konvertergáznak a kéménybe kerülése előtt a nedves mosóban a füstgáz a portartalmának jelentős részétől megszabadulhasson. Ennek érdekében a távozó konvertergázt előbb a nedves mosóban vízzel permetezik, majd egy nagyobb térben a sebesség lelassulásával a gázáramból előbb leválasztódik a durva por, majd fúvókarendszer által felgyorsított füstgázból egy másik szeparátorban a finomabb portartalom is leválasztódhat ( $<50 \text{ mg/Nm}^3$ -ig), azonban a besűrítőből eltávolítható iszap csak jelentős energiabefektetés árán lenne kiszárítható, jól hasznosítható.

A gőzhasznosítás lehet gazdaságos, viszont a nedves tisztítás során a vízgazdálkodás, víztisztítás kívánivalót hagy maga után (a portartalom kevésbé hasznosítható), ezért ma a nedves gáztisztítás helyett mindinkább a száraz gáztisztítás használatos.

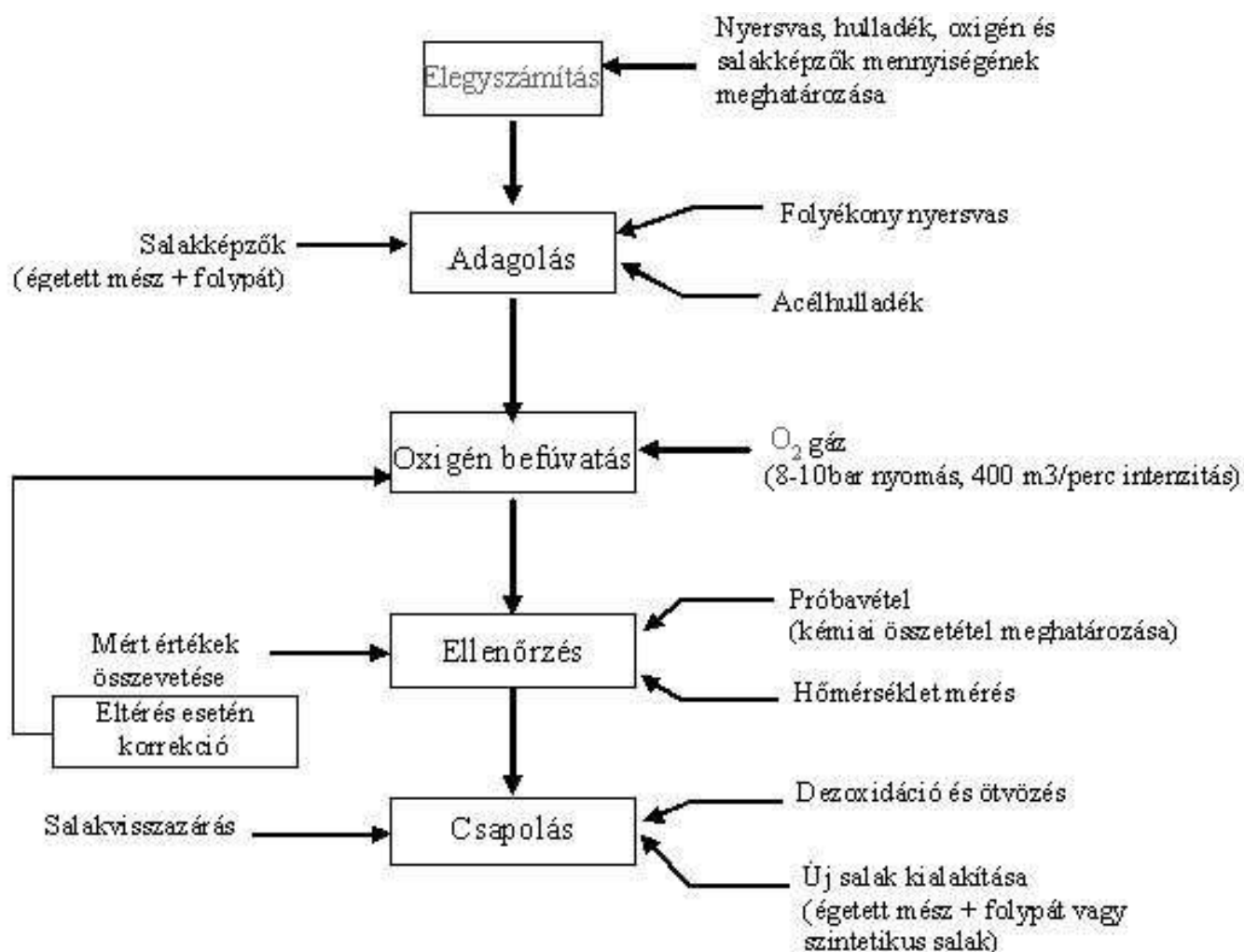
Száraz porleválasztás esetén elektrosztatikus szűrőkkel jobb portalanítási hatásfok ( $<20 \text{ mg/Nm}^3$ ) érhető el, a portartalom részben brikettálás után a kohászatban is újrahasznosítható, akár a festékiparnak is értékesíthető. Külön előny, hogy vízgazdálkodási problémák nincsenek, a távozó füstgáz gáztartályban összegyűjtve segédenergiaként hasznosításra kerülhet, környezetvédelmi problémák – természetesen a szükséges műszaki feltételek biztosítása esetén – nem lépnek fel.

### 3. AZ OXIGÉNES KONVERTERBEN LEJÁTSZÓDÓ FOLYAMATOK, AZ ADAG VEZETÉSE

#### 3.1. Az adagvezetés elemei

Az oxigénes konverterekben nyersacélgyártáskor értelemszerűen a legfőbb feladatunk, hogy a műszaki-gazdasági szempontokat alapul véve összeállított vastartalmú elegyből (a nyersvasból, továbbá acélhulladékból összeállított betétből) a vastartalom mellől kioxidáljuk mindazon elemeket, melyek oxidációjára a fizikai-kémiai törvényszerűségek lehetőséget adnak, s a konverterezés hőmérsége alapján kellő hőmérsékletűre hevített nyersacélt a relative optimális C-tartalommal csapolásra előkészítjük. A csapolás kezdetére tehát kettős célunk van: a C-tartalmat és a hőmérsékletet (mint célértékeket) az eltervezett értékekre hozni, természetesen emellett számos egyéb teendőnk is van, ami nem mellékes, hanem fontos tennivaló (pl. a salak kialakítása és kezelése, az oxigénszint csökkentése a csapolás kezdetére, a csapolás előtti homogenizálás, az üzemvitel gazdaságosságának biztosítása, stb.).

A 3.1 ábra a konverterezésnél az adagvezetés elemeit mutatja.



### 3.1. ábra Konverteres acélgyártás során az adagvezetés lépcsői

Egy-egy adag gyártása – függetlenül attól, hogy időben az előző adag csapolása után a konverter helyszínén felszórásos javítással (3.2. ábra) egy ún. adagközi javítás a gyártást végző team soron következő feladata – **elegyszámítással** kezdődik. A gyártandó acélminőséghez összeállítandó az a betét, mellyel a helyi adottságok figyelembevételével a következő adag gyártása levezényelhető. Nyilván ez időben meg is előzi az előző adag csapolását, hiszen az elegyszámítás eredményeképp kapott betétanyagokat adagolásra elő is kell készítenünk.



3.2. ábra Falazatjavítás felszóró-géppel

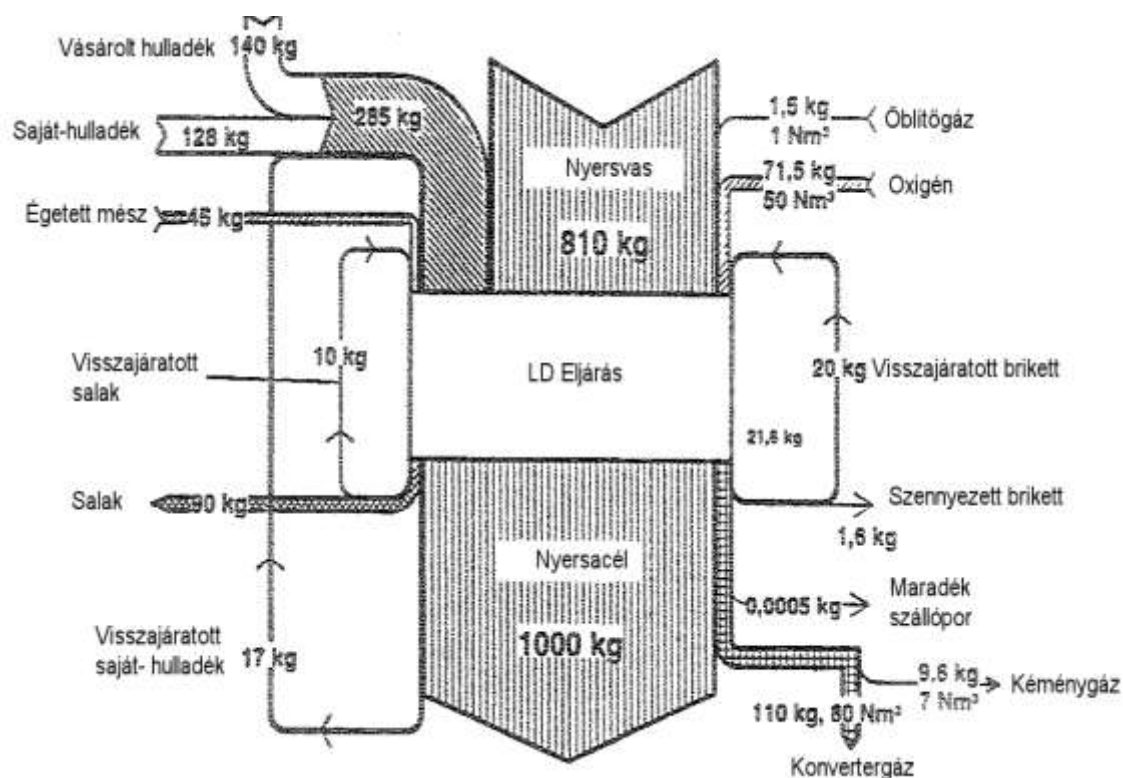


Az előkészített betétanyagok konverterbe **adagolása** után kezdődik el a lényegi feladat. Az **oxigénbefúvatás** hatására végbemenő reakciók lejátszódása, ezzel egyidőben a salakképződés, azaz megindulnak a metallurgiai folyamatok. Az oxigénbefúvatás során alakul a nyersacél összetétele, hőmérséklete, s ha az oxigénbefúvatást követő **ellenőrzés** azt mutatja, hogy a megcélzott célértékeinket (C-tartalom, hőmérséklet) elértük, akkor felkészülhetünk a nyersacél **csapolására**, ha nem, akkor újabb oxigénbefúvatással (ráfúvatás) korrekcióval kell a célértékeinket beállítani,

Az alábbiakban sorra vesszük a 3.1 ábrán jelzett adagvezetési lépcsőket, azok szempontjait. Az adagvezetés elemzése általános érvényű minden konverterre, néhány esetben a konkrétumok a Dunaferri Zrt felső oxigénfúvású, alsó inertgáz öblítésű, bázikus belésű 140 tonnás konverterénél alkalmazott gyakorlatra vonatkoznak. Az adagvezetés a [steeluniversity.org](http://steeluniversity.org) honlapon is részleteiben tanulmányozható, s a tananyaghoz kapcsolódóan bemutatott videófelvételeken is tanulmányozhatók.

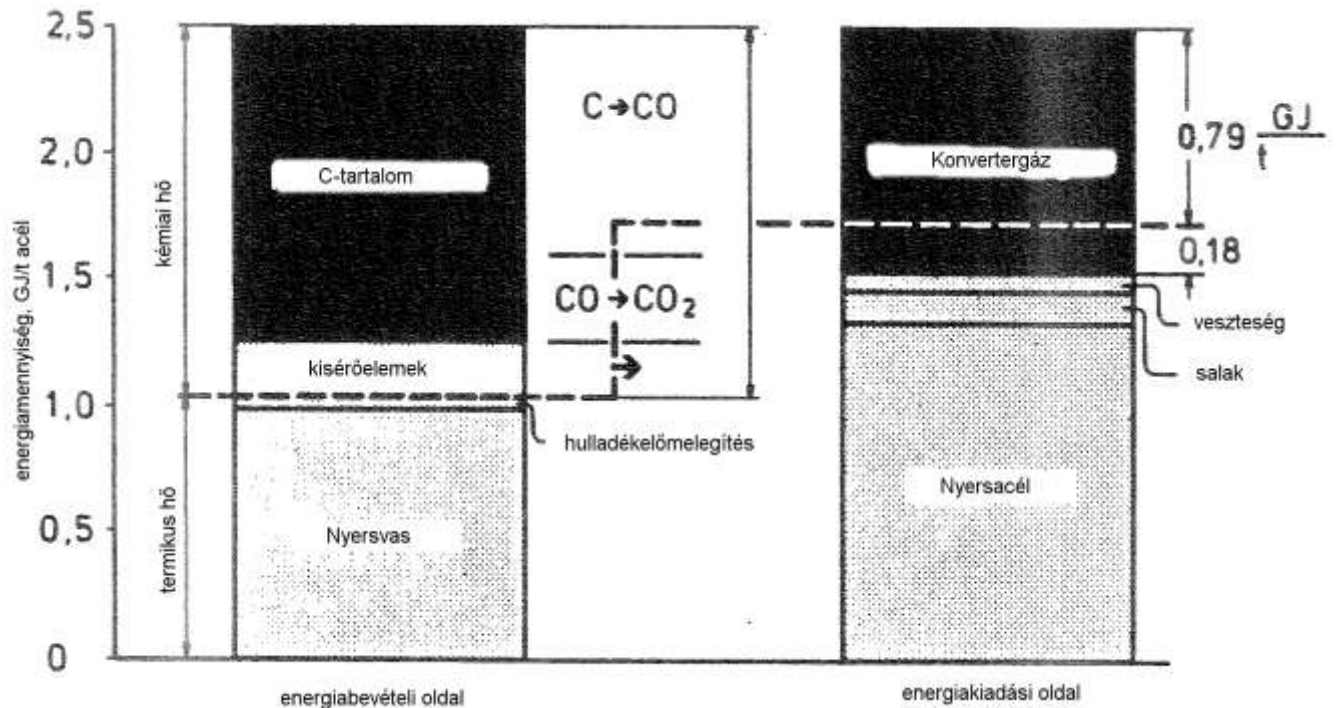
### 3.2. A betétanyagellátás szempontjai

Az oxigénes konverterezésnél a vastartalmú betét folyékony nyersvasból, ill. acélhulladékból tevődik össze a helyi adottságokra is tekintettel összeállítható anyag- és hőmérlegek alapján. Egy ilyen példát mutat a 3.3 ill.3.4. ábra [2.11]. A 3.3 ábrán 1 t nyersacél gyártására vonatkoztatottan szerepel az anyagmérleg, ugyanezen acél gyártására vonatkoztatottan a 3.4 ábrán a hőmérleg.



3.3. ábra Egy konverteres adaggyártás anyagmérlege [2.11]

Az anyag- és hőmérleg összeállítása elméletileg ugyan elmélyült számításokat igényel, de manapság az adaggyártásnál rendelkezésre álló rövid időtartam miatt ezeket a számításokat szoftverekké fejlesztve csupán a kiinduló (bemenő) adatokat kell számítógépbe vinni, s az eredmények rövid időn belül rendelkezésünkre állnak. (az anyag- és hőmérlegsámítás során figyelembe veendő szempontokat, az anyag- és hőmérlegsámításokat a steeluniversity adaptálását jelentő „A primeracélgyártás technológiatervezésének, technológiafejlesztésének gyakorlati szempontjai” c. jegyzet tartalmazza).



3.4. ábra Példa egy konverteres adaggyártás hőmérlegére [2.11]

A példaként bemutatott anyagmérleg szerint 1 tonna nyersacél gyártásához a bemenő oldalon 810 kg-nyi folyékony –deszilizcirozott- nyersvasat, 282 kg-nyi acélhulladékot, 20 kg-nyi szállópor-brikettet használtak fel, melyhez salakképzőként 45 kg-nyi égetett mésztől még 10 kg-nyi előző adaggyártás során keletkezett salakot is visszajárattak, s az oxidációhoz 71,5 kg-nyi oxigéngázt fúvattak be, öblítőgázként 1,5 kg-nyi argont vittek be. Az anyagmérleg kimenő oldalán 1 t nyersacél mellett keletkezett 100 kg-nyi salak (melyből 10 kg-nyi került visszajáratásra a konverter következő adagjához), 17 kg-nyi acélhulladék (ami visszajárátható saját technológiai hulladékként), keletkezett továbbá 119,6 kg-nyi tisztított konvertergáz, konvertergázzal távozott, s abból eltávolított 21,6 kg-nyi szállópor (melyből brikettálás után 20 kg-nyi volt visszajárátható). Nyilván ez azért tekinthető csak példának, mert az ábra alján szereplő hőmérleg tanulságai szerint üzemenként változó, hogy milyen az alkalmazott nyersvas, hulladék, ill. a bemenő oldal minden alkotója. Elvként leszögezhető azonban, hogy az anyagmérleg arányait figyelembe véve a bemenő oldalon leginkább befolyásoló tényező a nyersvas, a hulladék, az oxigén ill. az égetett-mész, a kimenő oldalon a nyersvas (a termék) mellett foglalkoznunk kell a salak ill. a füstgáz hasznosíthatóságával is.

### 3.3. Konverternyersvas

A nyersvas a nagyolvasztó terméke, de valójában nem termék, hanem az acélgyártás alapanyaga. Igen fontos alapanyag, hiszen világviszonylatban az acélgyártás volumene csak úgy tartható fenn (némiképp növelhető), ha folyamatosan vastartalmú betétanyagként vasércalapanyagból gyártott nyersvassal egészítjük ki a rendelkezésünkre álló acélhulladékot, egy-egy konverternél olyan arányban, ahogy azt a helyi adottságokra felállítható hőmérték igényli. A hőmérték viszont elsősorban a folyékony nyersvas fizikai hőtartalmát és a nyersvas összetételéből az oxidációs reakciók során nyerhető kémiai hőtartalmat igényli (ld.3.4. ábra), ezért foglalkoznunk kell a folyékony nyersvas

- összetételével
- hőmérsékletével,

továbbá a hőmértégtől függetlenül

- a nyersvassal bekerülő szennyező-tartalom (S,P) szabályozhatóságával



3.5. ábra Nyersvasat szállító torpedóüst [2.13]

A nagyolvasztóból csapolt nyersvas hőmérséklete 1450-1480 °C-közötti, a konverterbe beöntendő nyersvas hőmérséklete 1300-1350 °C-os. Nyilván a nagyolvasztóból csapolt nyersvasat át kell szállítani valamiképp a kisebb-nagyobb távolságban lévő acélműbe, ami idő és hőveszteséggel jár, ezért egy speciális nyersvasüstbe kell csapolni, speciális vasúti kocsival szállítandó.

Nagyobb távolságok esetén a gyakorlatban a jobb hőszigetelést, s a menet közbeni kezelhetőséget is biztosítani képes torpedóüstökben (3.5-3.6.. ábra) történhet a szállítás.



**3.6. ábra** Torpedóüst falazása, ill. kezelés torpedóüstökben

Kisebb távolságokra egyszerűbb nyersvasüstökben, viszont mindkét esetben célszerű biztosítani adagról-adagra az összetételi és a termikus homogenitást, ezért ahol csak lehetséges, ott nem közvetlenül kerül a nyersvasütből a nyersvas a konverterbe, hanem a nyersvasat előbb egy ún. keverőkemencében tárolják (gyűjtik és átlagosítják), ahol hevítési lehetőség és kezelési lehetőség segít az adagról-adagra közel azonos hőmérséklet, és az adagról-adagra közel azonos -és lehetőségképpen csökkentett- P és S-tartalom biztosításához. A 3.7 ábrán látható a Dunafer Zrt-ben működő 1300 t befogadóképességű nyersvaskeverő (melyben a nyersvas hőntartását földgázégőkkel oldják meg), előtte a keverőbe beöntésre várakozó nyersvasüstök.

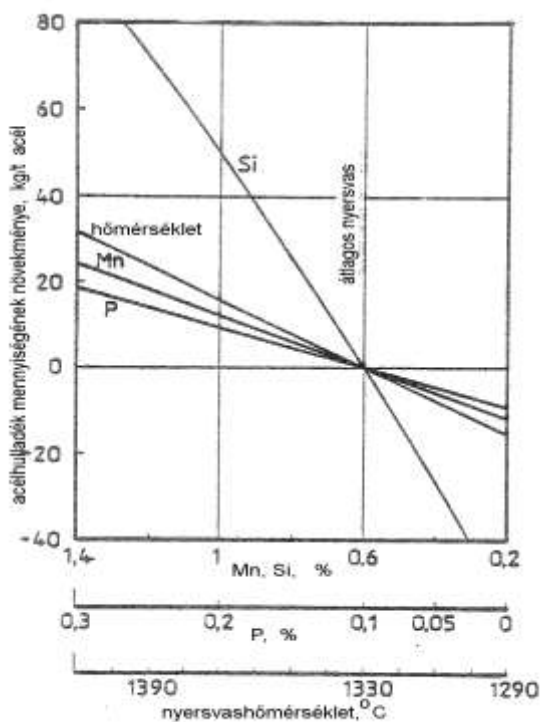


**3.7. ábra** Nyersvaskeverő a Dunafer Zrt-ben, előtte a beöntésre várakozó nyersvasüstök [2.13]



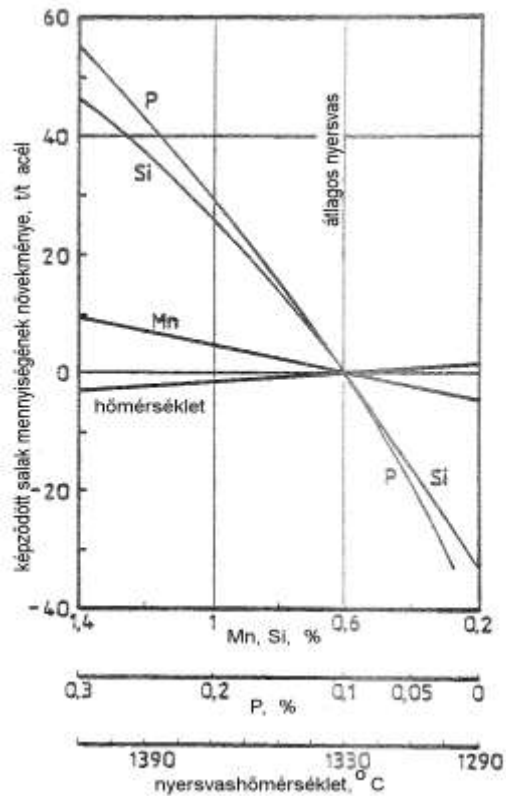
**3.8. ábra** A keverők falazata, ill. nyersvasbeöntés a keverőkbe

A keverők biztosítani tudják, hogy a nyersvastól elvárt fizikai hőtartalom megfelelő (1300-1350 °C) és lehetőleg állandó legyen, de ezen kívül a konverternyersvastól elvárás, hogy a kémiai hőtartalom is elégséges legyen a 3.4. ábra szerint. *A jelentős kémiai hőtartalmat elsősorban a nagy C-tartalom biztosítja* (ezért ez ma is elvárás a konverternyersvastól), korábban viszont a Si tekintetében is az volt az elfogadott álláspont, hogy célszerű nyersvasgyártáskor ennek magasabb szintjét is biztosítani, mert a Si-oxidációja a kémiai hőtartalmat jelentősen javítja, így lehetővé válni a konverterben a nagyobb arányú acélhulladék-felhasználás (3.9. ábra). A magasabb Si-tartalom viszont a konverterezésnél korán a nagyobb mennyiségű savanyú salak megjelenését eredményezheti (3.10. ábra) , így nagy lehet az égetettmész-felhasználás is..



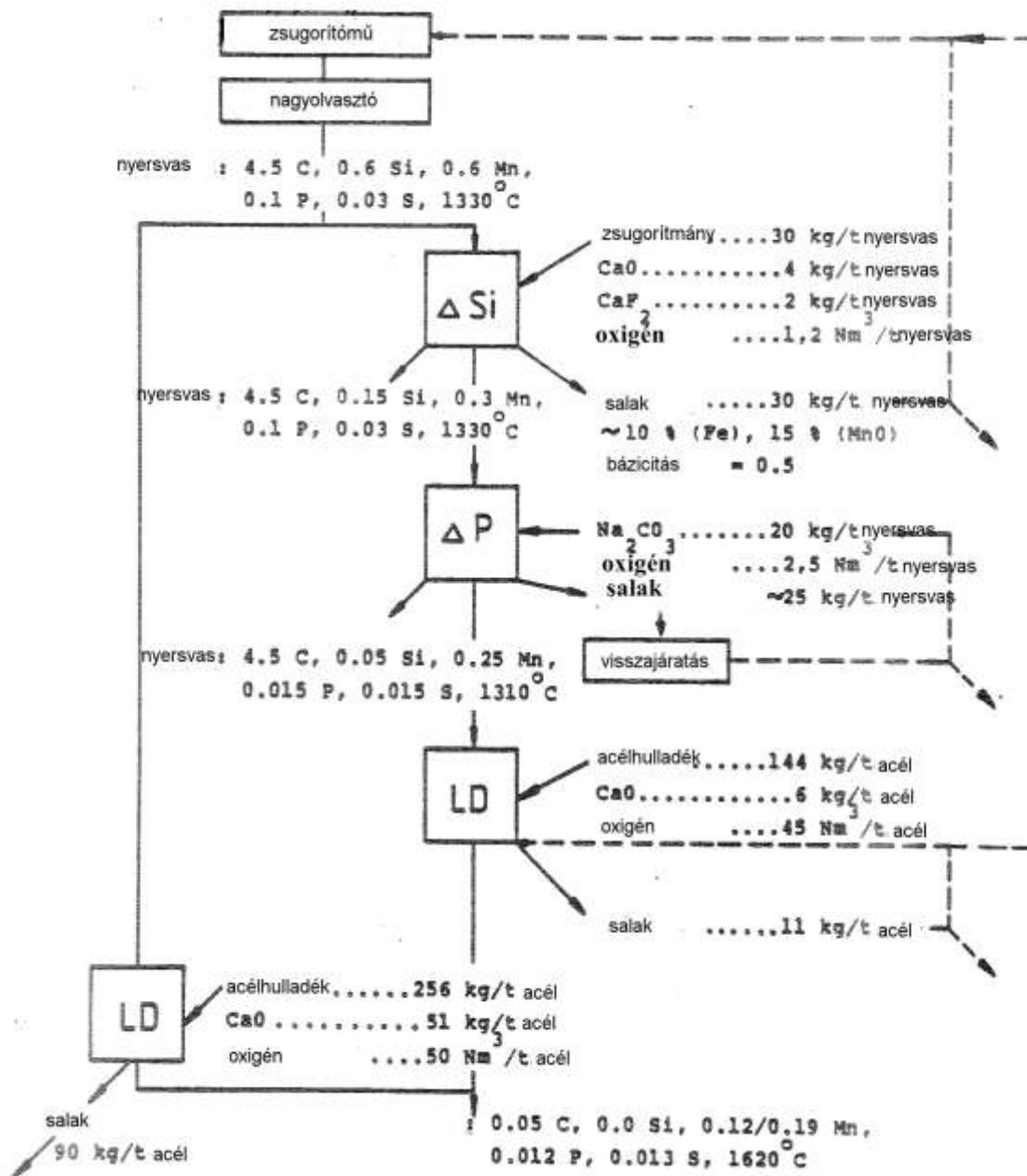
**3.9. ábra** A nyersvas hőmérsékletének, ill. kémiai összetételének [2.11] kihatása a konverterbetébe adagolható acélhulladék mennyiségére

Ezért ma az a tendencia, hogy nem szükséges nyersvasgyártásnál a Si-tartalom emelését forszírozni, sőt (főleg Japánban): terjed az az álláspont, hogy még a nyersvascsapolást követően ércsel, oxigénezéssel sokkal inkább a csapolt nyersvas deszilicizozását kell elvégeznünk, ezáltal a nagy kovasavtartalmú salak már a nyersvasról eltávolítható, s nem okoz salakképzési gondokat a konverterezésnél és nem támadja meg a magnézit bélésű falazatot.



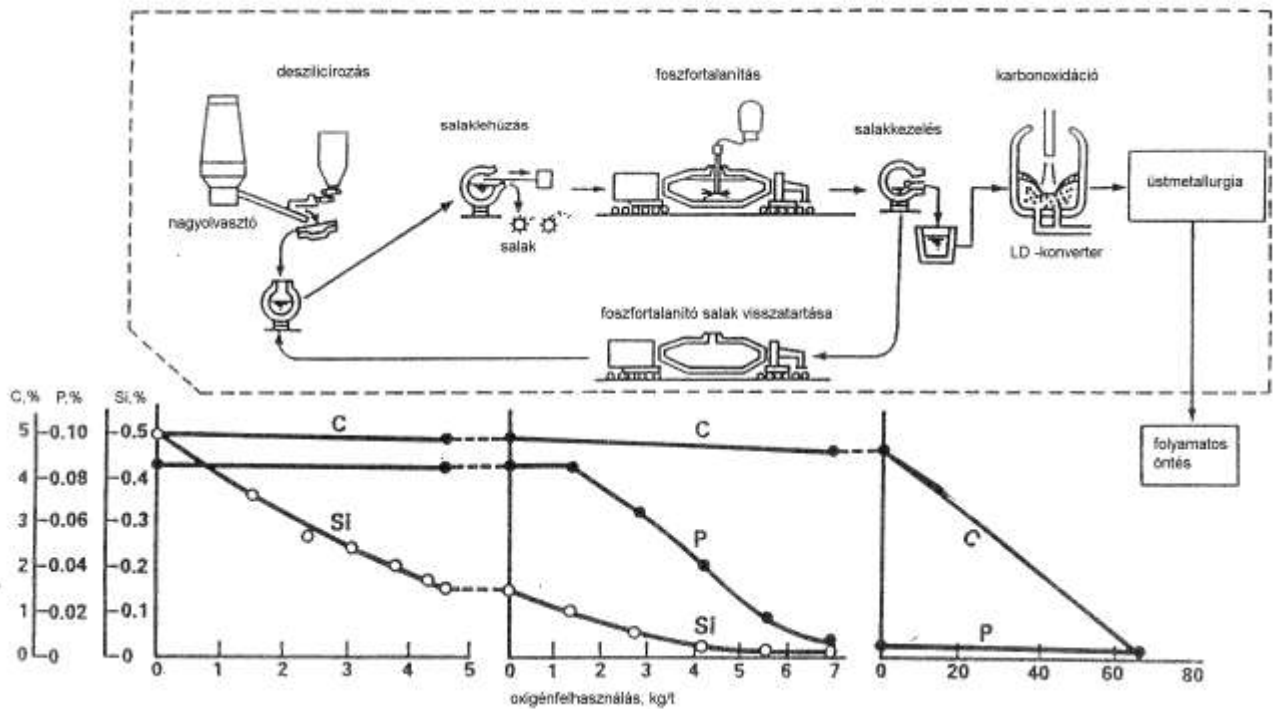
**3.10. ábra** A nyersvas hőmérsékletének, ill. kémiai összetételének kihatása a konverterben képződő primer salak mennyiségére [2.11]

Szennyező-elemként tartjuk számon a nyersvasban is a P ill. a S-tartalmat. Előbbi ugyan könnyen salakba vihető lenne a konverterben is, de növeli a salak mennyiségét, rontja a salak bázicitását, s növeli az égetettmész-szükségletet, viszont könnyen eltávolítható a torpedóüstben avagy a keverőben is szóda hozzáadagolásával. Szóda hatására előbb Na-foszfát képződik, mely vízben oldható szódasalak, s ebből a salakból a  $\text{Na}_2\text{O}$  és a  $\text{P}_2\text{O}_5$  ismét szétválasztható (szódavisszanyerés). Avagy égetett mész hozzáadásával trágyázó-anyagként felhasználható, viszont a deszilicizozott és foszfortalanított nyersvas a konverterezésnél rendkívül megkönnyíti a salakvezetést (3.11 ill. 3.12 ábra), s eltávolításukkal 4 % feletti C-tartalmuk és 1300-1350 °C-os hőmérsékletük még mindig biztosítja a konverterezésnél a 15-20 %-nyi acélhulladék-felhasználást olyan körülmények között, hogy jó esélyeink vannak a tisztább acélok gyártására.



3.11. ábra Konverterezés előtt a nyersvas deszilicizálásának és foszfortalanításának hatása a konverterezésre [2.11]

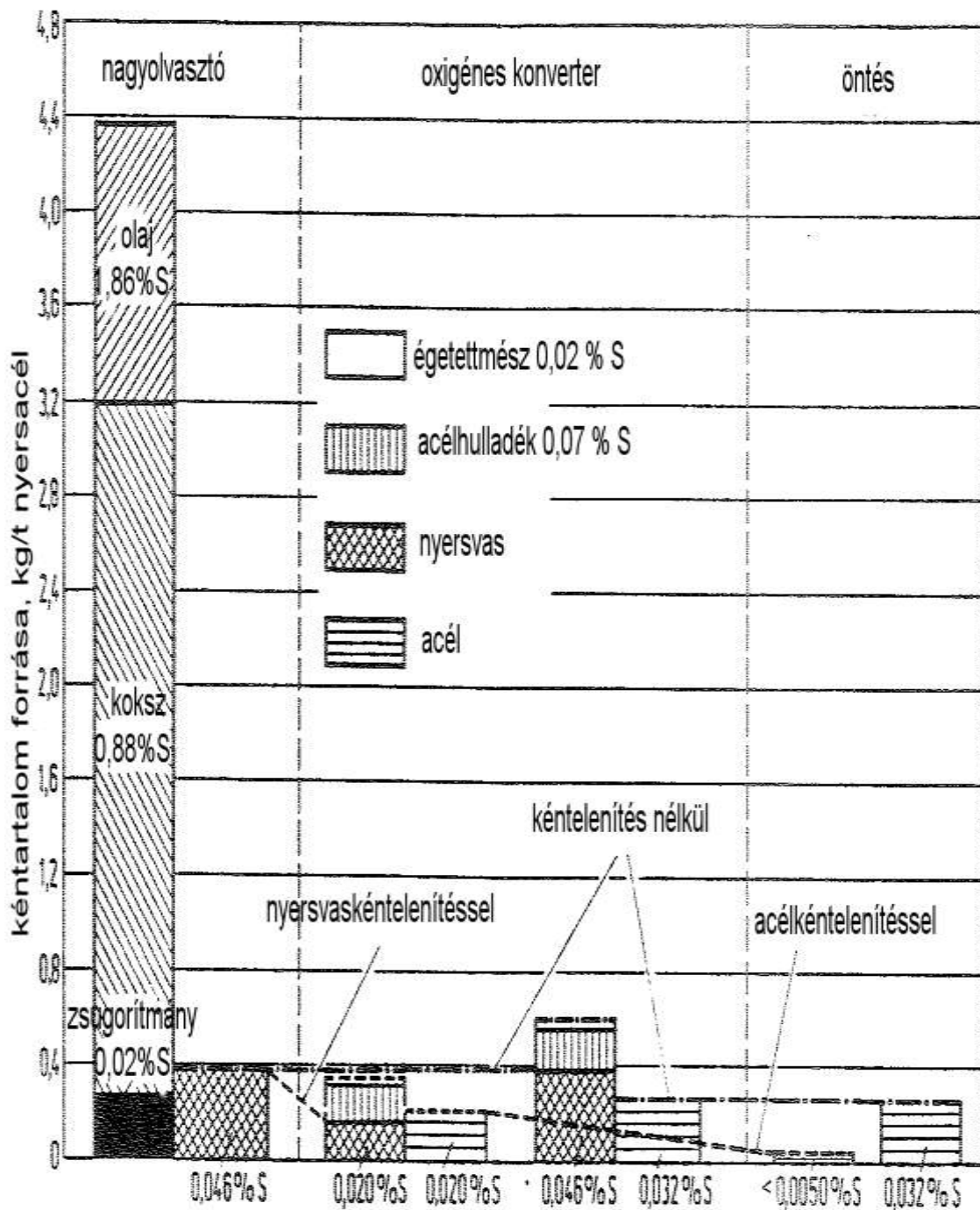
A 3.11 ábra összefoglalólag mutatja egy számpéldán keresztül a deszilicizálás és a foszfortalanítás hatását a konverterezés betétanyagszükségleteire és a képződött salak mennyiségére. A 3.12 ábra pedig a deszilicizálás és a foszfortalanítás helyét mutatja a konverterezést megelőzően. Igaz ugyan, hogy a deszilicizálás és a foszfortalanítás nélkül konverterbe adagolt nyersvas esetén közel kétszer akkora mennyiségű hulladék-felhasználásra lehet számolni a lényegesen magasabb kémiai hőtartalom hasznosítása révén, de valószínűleg ezt lényegesen kompenzálja az a tény, hogy szinte nagyságrendileg kevesebb salak képződik deszilicizálás és foszfortalanítás esetén, lényegesen kisebb az égetettmész-szükséglet és valamelyest az oxigénszükséglet is.



**3.12. ábra** Konverterezés előtt a nyersvaskezelés helye és szerepe [2.11]

A nyersvas kéntartalma meghatározóan befolyásolhatja az öntésre kerülő acél kéntartalmát. A 3.13. ábra szerint a zsugorítvány ugyan alig, de a nagyolvasztóban használt koksz és olaj jelentősen emelheti a nyersvas kéntartalmát. Mivel a konverterezés során az oxidációs körülmények között a kéntelenítés feltételei nem kedvezőek, a nyersvas konvertebe kerülése előtti nyersvaskéntelenítés ill. a konverterezés utáni üstmetallurgiai kezelés elmaradása esetén az öntésre kerülő acél nagy kéntartalmú marad, a 3.13 ábrán bemutatott példában 0,032 %-nyi. Ha ez az igényeinknek magas (márpedig az esetek többségében az), akkor a 3.14. ábra szerint [3.1] vagy az acélok üstmetallurgiai kezelése segít, vagy ha nagyobb tisztaságú acélok gyártása a feladatunk (vagy túlzottan nagy a nyersvas kéntartalma), akkor a nyersvas előkéntelenítése sem hagyható el.





3.13. ábra A nyersvas kéntartalmának kihatása az acél kéntartalmára [2.11]

Acél kéntartalma, % 0,01-0,02

<0,005 0,005-0,01

Nyersvas kéntartalma, %

>0,02

<0,02

>0,02

<0,02

>0,02

<0,02

Nyersvas kezelés

(CaO, CaC<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

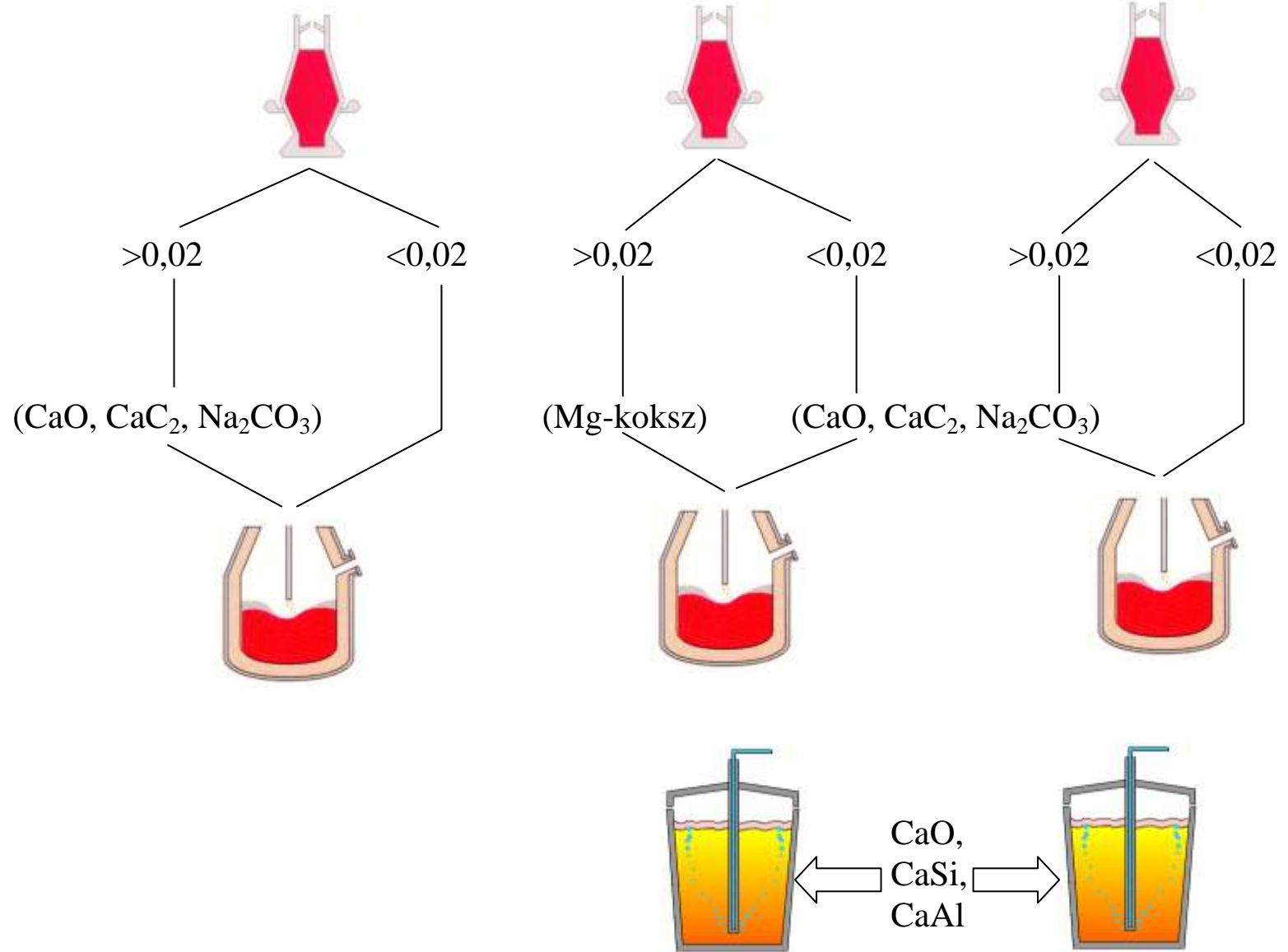
(Mg-koksz)

(CaO, CaC<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)

Konverterezés

Üstmetallurgiai kezelés

CaO,  
CaSi,  
CaAl



3.14. ábra Acél kéntartalmának szabályozása integrált acélgyártásnál [3.1]

A nyersvas kéntelenítésére számos bevált módszer ismeretes (3.1 táblázat [ 2.11]).

**3.1. táblázat** Konverterezés előtt a nagyolvasztóból csapolt nyersvasak kéntelenítéséhez használatos leggyakoribb kezelési módok jellemzői

eljárás	kezelés helye	kéntelenítő anyag	anyag szükséglet	kezelési idő, perc	Hőmérséklet veszteség, °C
öntősugaras kezelés	üst/keverő	Szóda	6-10 kg/t	10	10-30
mechanikus keverős kezelés	nyersvasüst	CaO+CaC <sub>2</sub> mész+szóda CaC <sub>2</sub> CaO + CH <sub>4</sub>	3-8 kg/t 1,5 kg/t 3-5 kg/t 10	10-20	20
pneumatikus befúvásos kezelés	nyersvasüst torpedóüst keverő	CaO+CaC <sub>2</sub> CaO+Mg Magnéziumkoks	2-10 kg/t 0,7-1,1 kg/t 0,7-1,2 kg/t	6-30 8-20	5-10 5-15

A 3.1. táblázat szerint kénteleníthetünk szódával, égetett mésszel, kalciumkarbiddal, újabban Mg-mal is, avagy ezek keverékével (pl. folyékony szóda és mésszalakkal, avagy Mg-kosz alkalmazásával). Elvégezhetjük a kéntelenítést a nyersvasüstben, a torpedóüstben, a keverőben többnyire porbefúvás révén, pneumatikus vagy mechanikus keverőberendezések segítségével, újabban elektromágneses keverőkkel is. Manapság az acélokkal szembeni elvárásaink a kéntartalom tekintetében elég szigorúak, így az esetek többségében –ha nagyobb tisztaságú acélok gyártása a cél– az acélok üstmetallurgiai kezelése mellett a nyersvas előkezelésénél is a kéntartalom csökkentése feladatként jelentkezik.

### 3.4. Acélhulladék

Konvertereknél a hőmérlegekből adódóan a felhasználható acélhulladék mennyisége (betéti aránya) erősen korlátozott (általában 12-25 % közötti), így nyilván kevesebb gond van vele, mint az elektroacélgyártásnál (ahol általában a betétben felhasznált acélhulladék aránya közelíti a 100 %-ot). Azokkal a saját visszatérő hulladékokkal, melyek a gyártóüzemben keletkeznek a gyártási folyamat során (adagolás, csapolás, öntés, hengerlés, kovácsolás, kikészítés, stb közben) még kevésbé van gond, mert összetételük, felületi szennyeződésük, térfogatsűrűségük, geometriai méreteik ismertek, szükség esetén felhasználás előtt jól előkészíthetők. A vásárolt hulladékok (legyen az feldolgozási jellegű, avagy amortizációs hulladék) azonban okozhatnak meglepetéseket, ezért ezek vásárlásainál, előkészítésüknél átgondolást igényelnek, ehhez segít a vásárolt hulladék összetételének, felületi szennyeződéseinek, térfogatsűrűségének, geometriai méreteinek ismerete, s nem utolsósorban az ára.

Ma a hulladékokra vonatkozó ismérveket az MSZ 2592.sz. szabvány foglalja magában. E szabvány szerint az ötvözetlen hulladékok megengedhető szennyező-tartalma a 3.2.táblázat szerinti.

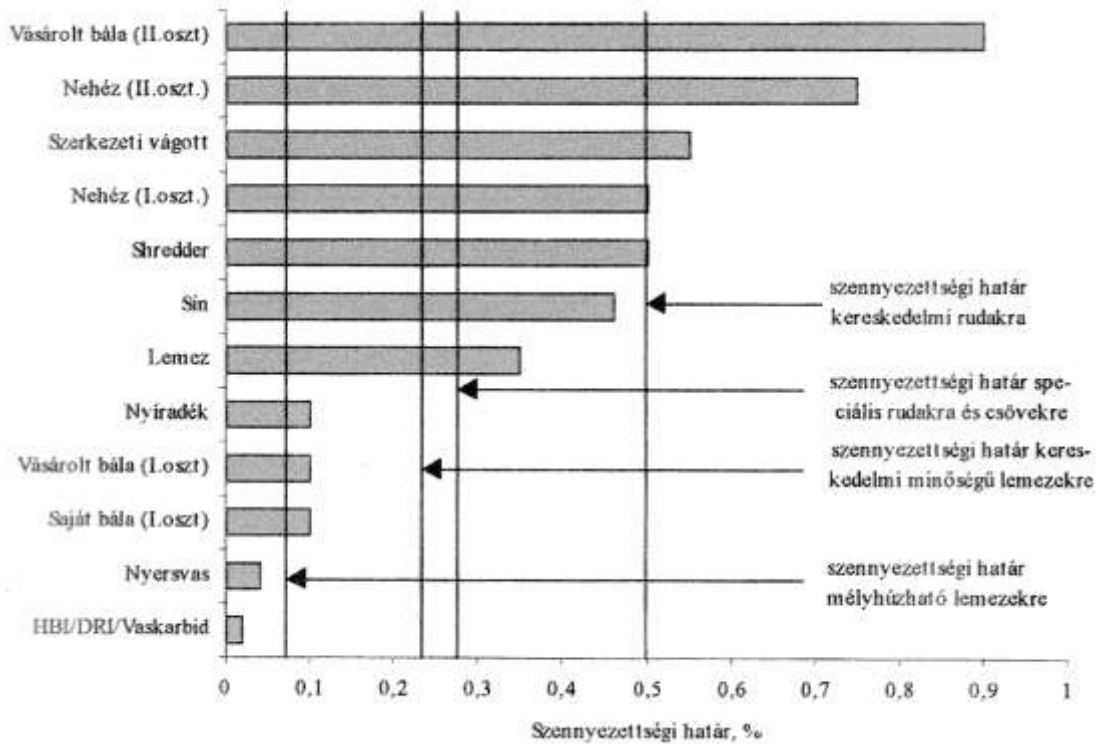
**3.2. táblázat** Ötvözetlen acélhulladékok kísérő- és szennyezőelem-tartalma [3.2]

Hulladékfajta	Jelölés	Szennyezőtartalom, %				
		Cu	Sn	Cr+Ni+Mo	P	S

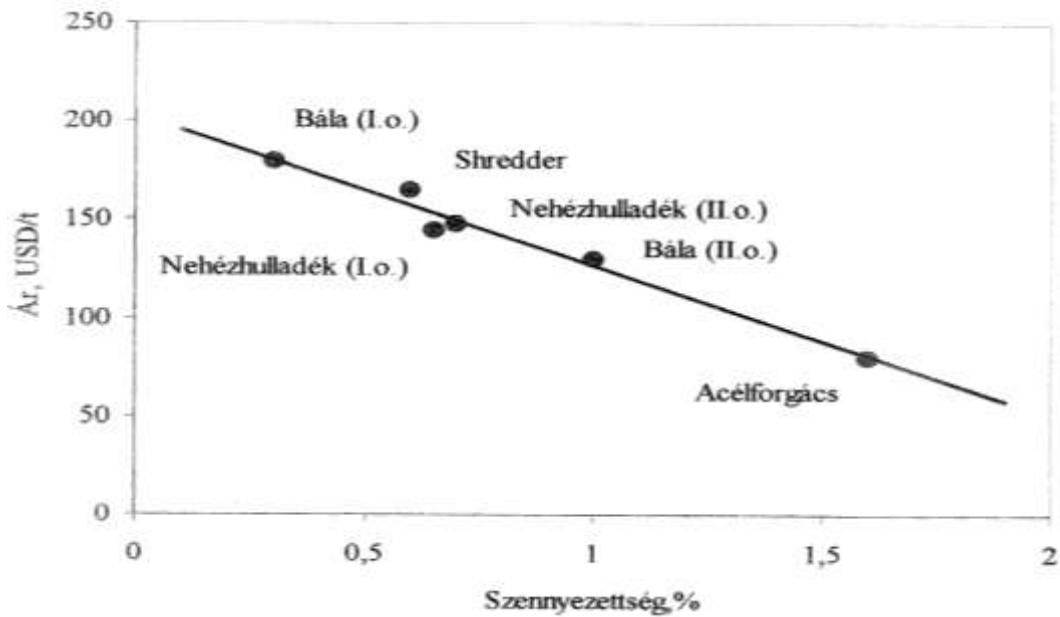
Régi hulladék	E 3 E 1	< 0,250 < 0,400	< 0,010 < 0,020	< 0,250	< 0,045	< 0,045
Új hulladék	E 2 E 8 E 6	<0,300			< 0,045	< 0,045
Gyengén ötv.hulladék	EHRB	< 0,450	< 0,030	< 0,350	< 0,045	< 0,045
Erősen ötv.hulladék	EHRM	< 0,400	< 0,030	< 1,000	< 0,045	< 0,045
Shredder	E 40 E 46	< 0,250 < 0,500	<0,020 <0,070	--	< 0,045	< 0,045
Acélforgács	E 5H	előzetes elemzést lehet megkövetelni				
	E 5M	<0,400	<0,030	< 1,000	< 0,100	< 0,045

Az acélhulladék felhasználhatósága tekintetében az ismert összetételű, szennyezőktől mentes, jól adagolható hulladék az ideális.

Ötvözött acélhulladékoknál összetétel ismeretében könnyű a felhasználhatóságról dönteni, hiszen vannak salakba vihető elemek (Si, Al, Zr, B, V), részben eltávolítható elemek (P, S, Cr), részben vagy egészben visszamaradó elemek (Cu, Sn, Ni, Co, Mo, As, W, P) és gázfázisba kerülő elemek (Zn, Cd, Pb). Ötvözetlen acélhulladékoknál a felsorolt elemek közül a 3.2 táblázat szerintiekre vonatkoznak előírások. Nyilván acélminőségként más-más a megengedhető szennyezettségi határ, így nyilván más-más szennyezettségű hulladék felhasználása engedhető meg. A 3.15. ábra a különböző hulladékcsoportok és a gyártandó acélminőségek szennyezőtartalmának egybevetését mutatja, pl. látszik, hogy ún.kereskedelmi célú idomacéloknál acéloknál még kisebb-nagyobb mennyiségben a vásárolt II.osztályú bala is felhasználható, viszont ha ezek a rudak speciális igények kielégítését szolgálják, akkor már a konverterbetétben a shredder felhasználása is kockázatos, mélyhúzó lemezek gyártáshoz viszont már nagyon válogatott acélhulladék szükséges, hiszen a megengedett szennyezettségi határ igen alacsony. Nyilván az acélhulladék szennyezettsége befolyásolja annak árát is, jobb minőségű acélokhöz olcsóbban beszerezhető nagyobb szennyezettségű hulladékok valószínűleg alkalmatlanok. A 3.16. ábra az acélhulladékok szennyezőtartalma és ára közötti összefüggéseket mutatja, nyilván a feltüntetett piaci árak időről-időre változnak, inkább csak a relatív összevetésre alkalmasak.



**3.15. ábra** A különböző hulladékcsoportok és a gyártandó acélminőségek szennyezőtartalmának egybevetése [3.3]



**3.16. ábra** Az acélhulladékok szennyezőtartalma és ára közötti összefüggés [3.3]

A szennyezőktől mentesség elsősorban az olaj-, víz-, műanyag-, föld-tartalomra vonatkozik, nyilván kellő kompromisszumot engedélyezve.

A jól adagolhatóság is nyilván relatív fogalom, egyedi igények jelentkezhetnek, a hulladékéllőkészítés különböző módszerei (begyűjtés, kézi válogatás-osztályozás, lángvágás,

bálázás, shredderezés, forgácsörlés, brikettálás, stb) segíthetnek a felhasználhatóság megítélésénél.

### 3.5. Konvertermész

A legfontosabb salakképző a frissen égetett (azaz vízmentes) mész. Szerepe azon túl, hogy az elsőként képződő, SiO<sub>2</sub>-dús savanyú salak bázicitását javítsa, hogy a bázikus falazat falazattartóssága ne károsodjon, elsősorban konverterezés során a foszfortalanításnál van, majd később –főleg az üstmetallurgiai szakaszban- a kéntelenítés.

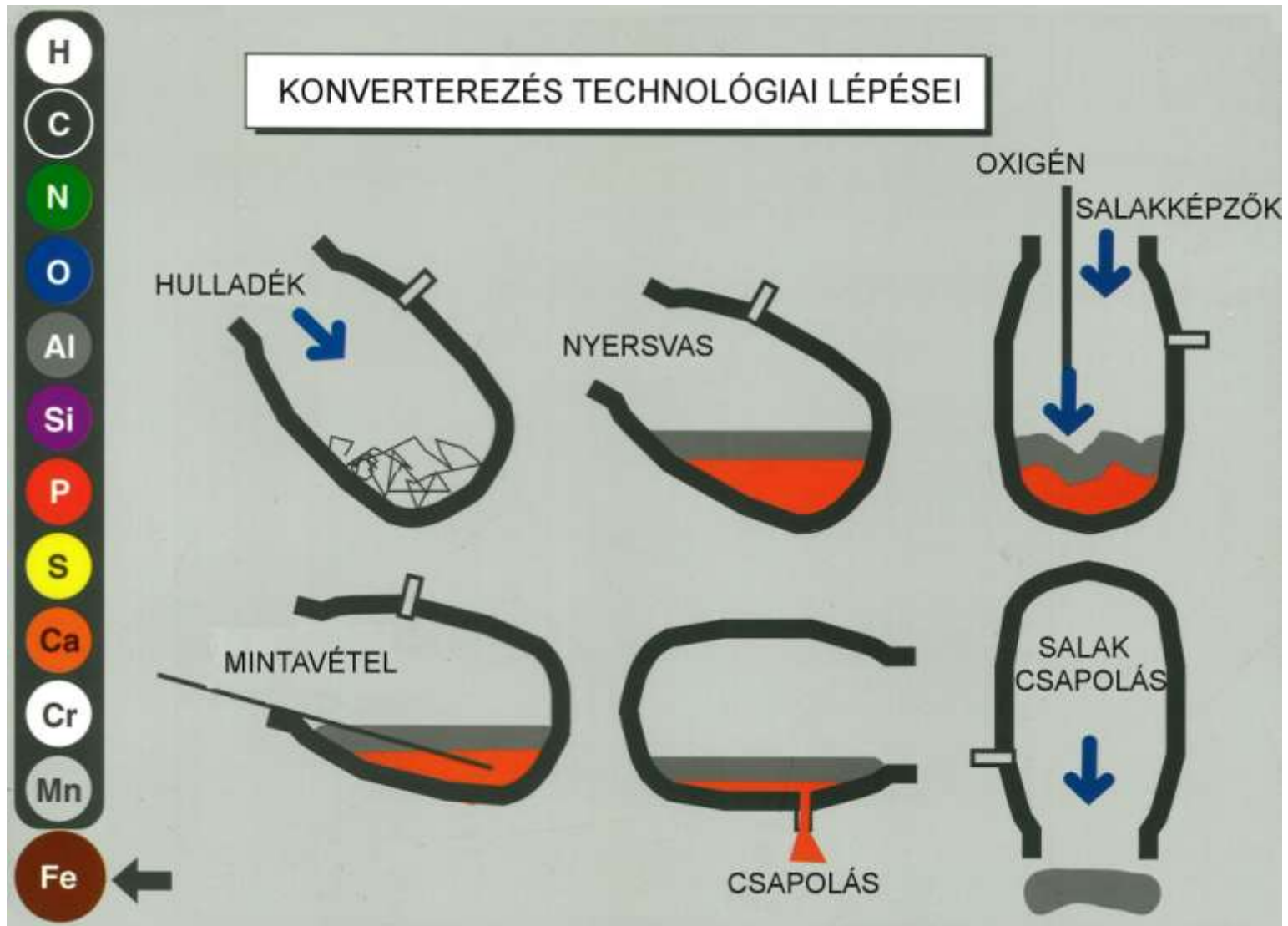
Elvárt összetétele:	CaO	min.90-92 %
	SiO <sub>2</sub>	max. 1 %
	MgO	max, 2 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 1 %
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 1 %
	S	max. 0,05 %
	P	max. 0,1 %
	Izzitási veszteség	max. 3 %
	CO <sub>2</sub>	max 2-3 %

Magas olvadáspontú (~2400 °C), ezért jó reakcióképességűnek a 20-30 mm közötti szem-nagyságú mész tekinthető, amelynek sűrűsége 1,5-2,2 g/cm<sup>3</sup>, porozitása 35-55 tf%. Korábban minden kohászati üzem saját maga állította elő az égetett meszet, hogy a frissen égetettség biztosítható lehessen. Újabban a saját égetett mészelőállítás a konverteres acélgyártás alacsony mérszige nye miatt gazdaságtalan, különös gonddal kell ezért a vásárlást eszközölni, hogy a frissen égetettség (a vízmentesség) biztosítható lehessen.

### 3.6. Betétanyagok konverterbe adagolása

A 3.17. ábra mutatja egy konverteradag során végzendő technológiai műveletek sorrendiségét [3.4]. Eszerint a betétanyagok konverterbe adagolása –ami jó logisztikai előkészítés mellett 4-5 percnyi idő alatt kell megtörténjen- a hulladék beadagolásával kezdődik, majd a folyékony nyersvas beöntésével folytatódik, végül a már visszabillentett konverterbe surrantón keresztül jutnak be a salakképzők.

A konverteres acélgyártásnál felhasznált 12-25 %-nyi acélhulladék vasúton, gépkocsin érkeve jut be az acélmű hulladékterére (3.18. ábra), mely az időjárás helyzet változásainak befolyásoló hatásaitól védelmet biztosítva többnyire fedett tároló. Számolni kell azzal, hogy a konverterbe adagolás időtartama szűkre szabott, ezért a hulladékadagoló kanál kiszolgálása a zárt hulladéktéren, lehetőleg a konvertertől nem távol, a konverter adagolását végző darupálya alatt legyen.



3.17. ábra Oxigénes konverteres acélgártás műveleteinek sorrendje [3.4]

A hulladékadagoló kanál(teknő) térfogata olyan, hogy az egy konverter adagba juttatandó acélhulladékot befogad. A kanálba a hulladék elhelyezését végző dolgozók arra ügyelnek, hogy a daru markolójával, vagy mágneses emelőjével a különböző típusú hulladékok úgy kerüljenek elhelyezésre az adagolókanálban, hogy a hulladékadagoló kanálból a konverterbe bejutáskor a meleg tűzállóanyag falazat jelentős mechanikus károsodásokat ne szenvedjen.



**3.18. ábra** Acélhulladék előkészítése a hulladékadagoló kanálba a Dunaferr Zrt Acélművében [2.13]

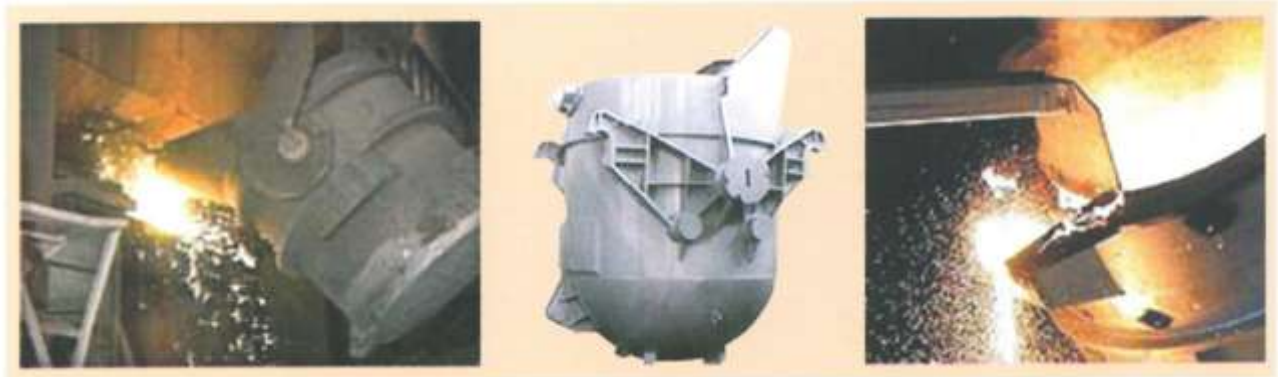


**3.19. ábra** Az acélhulladék beöntése a hulladékadagoló kanállal



a Dunafer Zrt konverterébe [2.13]

A hulladékadagolást követi a nyersvasbeöntés (3.20-21. ábra). A nyersvaskeverőből érkező 1300-1350 °C-os, előzőekben vázolt módon összetételileg is előkészített nyersvas egy speciális üst (3.20. ábra)



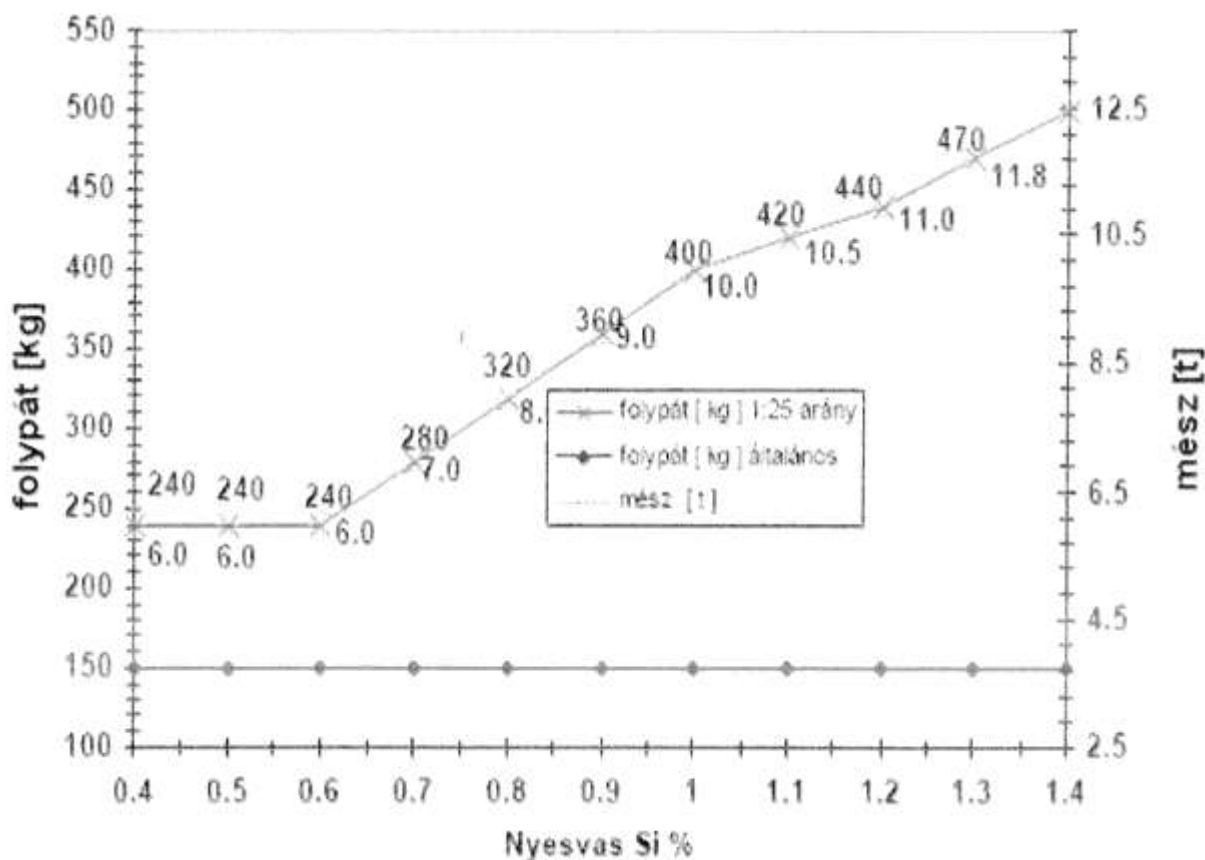
3.20. ábra A nyersvas beöntése egy speciálisan kialakított üstből

tartalmaként kerül be a konverterbe igen fokozott óvatosság mellett. Igen forró folyékony olvadék konverterbe beöntése önmagában is fröcskölődésekhez vezető, veszélyes művelet (hiszen a konverter száján keresztül egy üst csőrén át igen precíz darusi művelettel kell a forró olvadékot a konverterbe adagolni anélkül, hogy a konverterből kifröcskölések ne következzenek be). Igen szigorú munkavédelmi előírás, hogy nyersvasbeöntés idején a konverter környezetében senki ne kockáztassa életét, senki ne tartózkodjon !



3.21. ábra A nyersvas beöntése a konverterbe

A nyersvas beöntése után a konvertert függőleges állásába fordítják, s a bunkerrendszerből CaO-ot adagolnak surrantón keresztül a konverterbe egy erre vonatkozó számítási eredményeket tartalmazó nomogram szerint, ami a Dunaferr Zrt 140 t-ás konverterére vonatkozóan pl. a 3.22. ábra szerinti.



3.22. ábra A salakképzők (égetett mész ill. folypát) 2-3 lépcsőben adagolandó összmenyisége a Dunaferr Zrt-ben [2.13]

### 3.7. A konverterben lejátszódó folyamatok. A vasbetét oxidációja a konverterben.

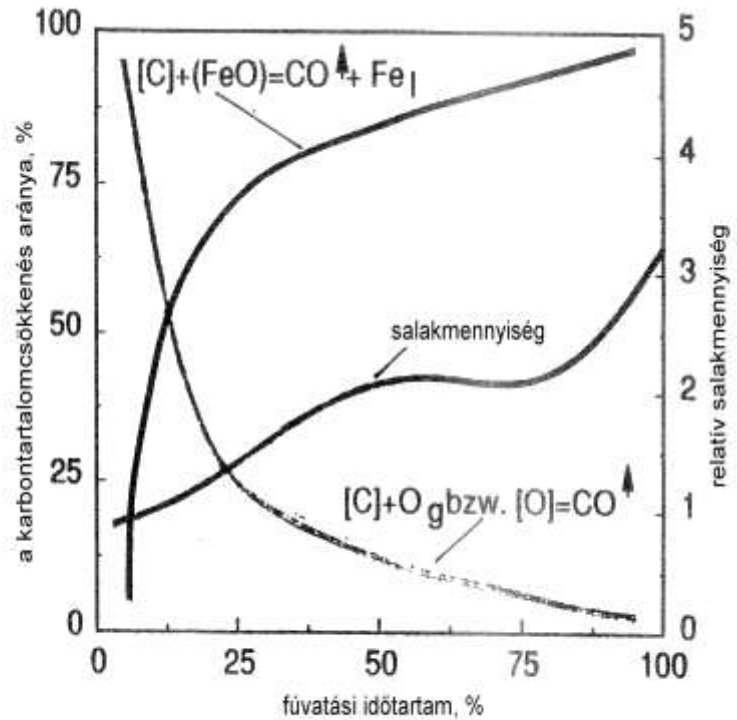
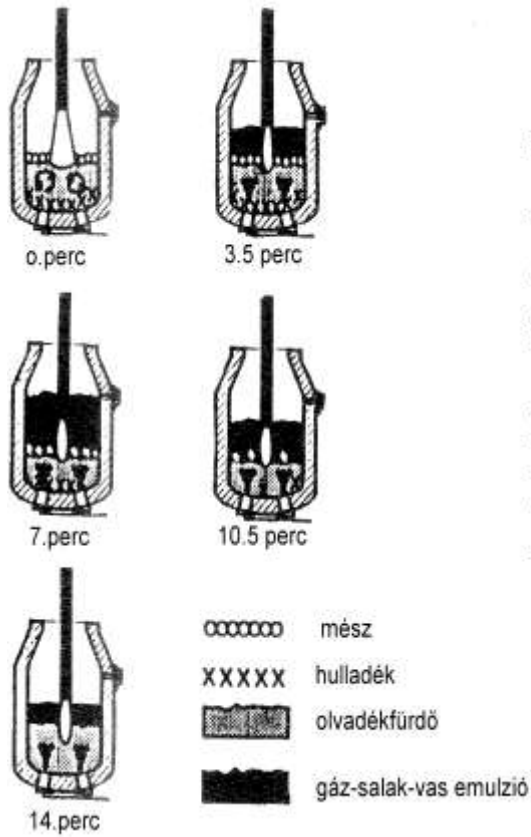
A konverterezésnél a betétanyagok beadagolását és a salakképzők egy részének konverterbe juttatását követően kezdhető el a metallurgia, ami tulajdonképpen a vasbetét oxidálásából áll. Azért, hogy az 1300-1350 °C-os hőmérsékletű nyersvas oxidálható elemei (Mn, Si, P) a Fe mellől a salakba kerülhessenek, a C-tartalom – többnyire CO ill. részben CO<sub>2</sub> képződése és a füstgázon keresztül történő eltávozása révén – elérhesse a csapoláskor előírt mértéket, s a csapoláskori fürdőhőmérséklet is az exoterm reakciók hőhatásainak köszönhetően a csapolás időszakára előírt hőmérsékletre emelkedhessenek.

#### 3.7.1. Lágfúvatás

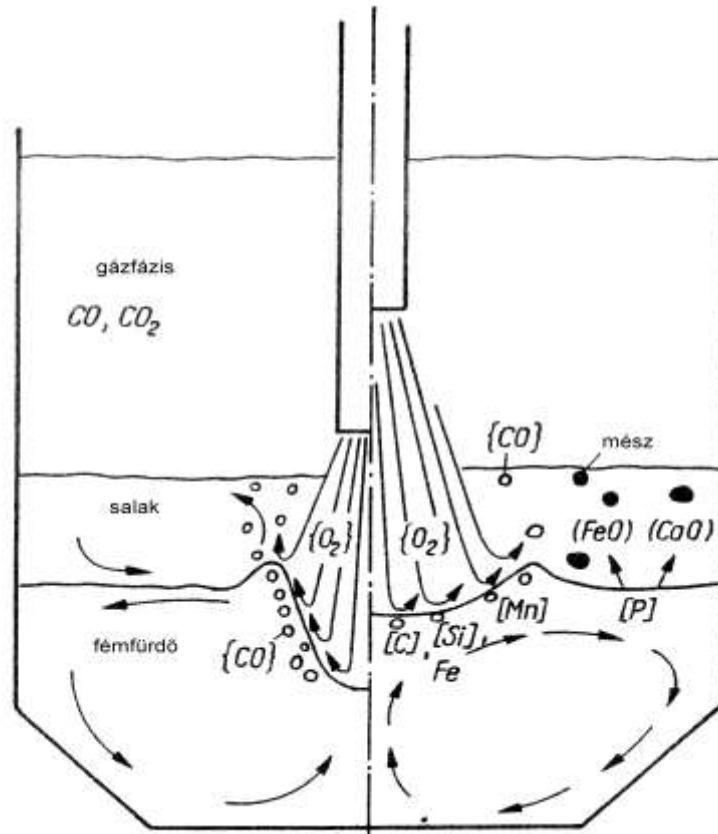
Az oxidációhoz szükséges oxigéntartalmat a konverterbe bevezetett oxigénlándzsán keresztül biztosítjuk a fúvatás 12-20 perces időtartama során. Az oxigén (O<sub>2</sub>) az alkalmazott nagy túlnyomás (6-20 bar) miatt a hangnál nagyobb sebességgel lép ki a lándzsából, s noha a lándzsa leengedésével 2,2-

2,5 m távolságban a folyékony nyersvasfűdő felszínétől megállunk, az oxigénsugár találkozik a nyersvassal, az oxigén oldatba megy, s a termodinamikai feltételek szerint oxidálja a Fe-t, a Si-t, a Mn-t, a P-t és részben a S-t.

Ez a relatíve magas lándzsahelyzet biztosítja a fűtás időszakának elején – a fűtás első 3-5 percében (3.23. ábra) – az ún. lágy fűtést (3.24. ábra jobboldali része).



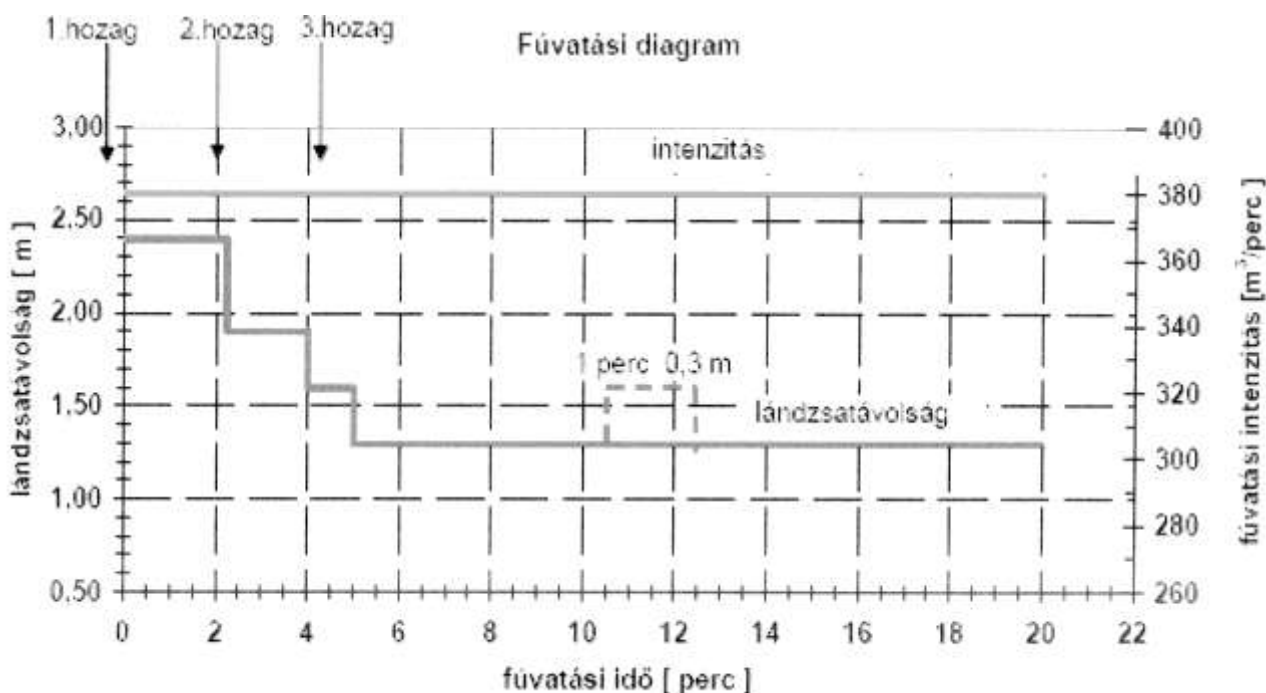
3.23. ábra Az oxigénes konverterekben a fűtás során lejátszódó folyamatok [2.11]



3.24. ábra A konverterbeli lágy ill. keményfúvatás összehasonlítása [2.11]

E lágy fúvatás során is az  $O_2$ -nyaláb kinetikájának nagyobb részét átviszi a nyersvasfűrdőbe, a fűrdő mozgásba lép, az oxigén a konverterfenéig is eljut, ahol a  $[C] + [O] \leftrightarrow \{CO\}$  reakció lejátszódhat, s a keletkező  $CO$ -gázbuborékok tovább segítik a fűrdő turbulens mozgását. A fűrdő cirkulációja révén a  $Fe$ , a  $Si$ , a  $Mn$  és a  $P$  oxidálódhat, az oxidjai salakba juthatnak, s megindulhat a  $C$ -oxidáció is előbb a  $2 [C] + \{O_2\} \rightarrow 2 \{CO\}$  reakció alapján, majd később lejátszódhat a  $[C] + (FeO) \rightarrow [Fe] + \{CO\}$  reakció is.

A  $Fe$ , a  $Mn$  és a  $P$  oxidációjával ezen elemek oxidjaiból ( $FeO$ ,  $MnO$ ,  $P_2O_5$ ) a lágy fúvatás során híg folyós salak képződik, ez oldja az égetett meszet és a lehető leggyorsabban  $Ca$ -szilikátok képződésével a korai savanyú salak bázicitása nő. Ennek megkönnyítését szolgálja az égetett mésszel szembeni fizikai előírás a porozitást és a szemnagyságot illetően. A salakképződést könnyíti továbbá, hogy a bázicitás növelése érdekében adagolandó égetett meszet (és híg folyósítót) részletekben adagoljuk. Ez pl. a Dunaferr Zrt-ben azt jelenti, hogy a 3.25. ábra szerint a lándzsavezetés olyan, hogy a fúvatás első 4-5 percére kiterjedő lágyfúvatás során a lándzsát 2.5 méterről szakaszosan engedjük le 1.3-1.5 méterig, eközben 3 részletben kerül be az égetett mész és a folyópát a folyékony fűrdőbe, ahol fokozatosan nő a salak mennyisége, s javul annak bázicitása.



**3.25. ábra** A lándzsavezetés és a fűtési intenzitás alakulása a fűtési időszakában a Dunaferri Zrt-ben [2.13]

### 3.7.2. Keményfűtás

A fűtési időszak első 3-5 perce a lágyfűtással telik el, ezt követően a lándzsát tovább lejjebb eresztjük mintegy 1.2-1,5 m-ig a fűtési intenzitás csökkentése nélkül. Így a változatlan fűtési intenzitás és a lándzsatávolság rövidülése a keverőhatás növelését eredményezi → a keményfűtás kezdődik (3.24. ábra baloldali része).

A keményfűtás időszakának elején a CO-képződés fokozódik, a folyékony salakból, a még fel nem oldódott CaO-darabokból, a folyékony olvadékból, a képződött CO-ból egy – a lágyfűtáshoz képest jelentősebb mennyiségű – emulzió képződik (az ún. habos salak), erre az időszakra jellemző a salak mennyiségének jelentős növekedése. A salakmagasság a kemény fűtás időszakának közepén túl is nő (mialatt a C-oxidációjának sebessége maximumot ér el), viszont a C-tartalom csökkenésével a C-oxidáció sebessége is csökken, a csökkenő CO-képződés miatt az alsó gázátöblítés intenzitásának növelésével lehet a salak-fürdő közötti reakciók sebességét javítani.



**3.26. ábra** A konverterekben a fúvatás időtartama alatt a folyékony betét ill. a képződött salak összetételének alakulása [3.4]

A 3.26. ábra mutatja a fúvatás teljes időtartama alatt a fürdő ill. a képződött salak összetételének változását. Látszik, hogy a Si már a lágyfúvatás végére teljesen kioxidálódik, jelentős a Mn-oxidációja, s megindul a P (rövid ideig a S)-oxidációja is, viszont a keményfúvatás során előbb a P-oxidáció válik teljessé, majd egyre hevesebben csökken a C-tartalom. A keményfúvatás végén némi Mn ill. P-visszaredukálódás figyelhető meg elsősorban az oxidációs reakciók termodinamikai feltételeinek változása miatt (a hőmérséklet növekedése nem kedvez a Mn ill. P-oxidációjának), ugyanakkor redukálószerként hat a C jelenléte is.

A salakok összetételénél a kezdeti értékek követik az oxidáció sorrendjénél kialakultakat: a SiO<sub>2</sub>, a MnO, a P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> képződése mellett a FeO képződése a meghatározó, majd a CaO fokozatos oldódásával az oxidálódó elemek oxidjainak aránya csökken (ebbe a Mn ill. a P redukciója is besegít), s ezt követően a C-oxidáció lelassulását követően többnyire a FeO képződésével kell számolnunk mindaddig, amíg oxigént fújunk be. Ha a C-oxidációjának erőteljes lelassulása mellett a FeO erőteljes képződését észleljük, akkor ez már a fúvatás végét jelzi, az oxigénbefúvatást le kell állítanunk, az oxigénlándzsát kihúznunk a konverterből, s ellenőrzéssel kell meggyőződnünk, hogy a nyersacélgyártás oxidáló folyamata befejezhető-e.

### 3.7.3. Ellenőrzést követően a nyersacél kikészítése

A konverteres acélgyártás egy magasfokú műszerezettség melletti acélgyártás, természetesen a rutin, a tapasztalat gyakorta jó segítség, de a modern konverterezés el sem képzelhető korszerű mű-

szerezettség nélkül. A műszerezettség foka segít a folyamatvezérlés során a legfőbb teendőink kiválasztásánál.

Az oxigénes konvertereknél a folyamatvezérlés három szintje közül választhatunk műszerezettségünktől (3.27. ábra) függően [3.5, 3.6]:



**3.27. ábra** A konverter fúvatásvezetői állása Dunaujvárosban [2.13]

- Az ún. statikus folyamatmodellnél a legutóbbi 10-50-100 adag átlagaként meghatározható mennyiségi-, összetéleri, hőmérsékletadatokból számítható a sorra kerülő adagnál az oxigénfogyasztás, a vég hőmérséklet, a salakképző mennyisége, a fém- és salakösszetétel. Az adagyártás során minden adagnál a mért értékek műszereinken nyomon követhetőek (3.27. ábra), az adatok elraktározhatóak, átlagok számíthatóak, stb.. Ennek ellenére a fúvatás két legfontosabb célértéke: a nyersacél elérendő C-tartalma és a csapoláskor elérendő hőmérséklet, melyeknek ellenőrzésére szükség van. A statikus folyamatmodellnél a fúvatás befejezésekor, a konverterből az oxigénlándzsa kiemelését követően a pódium felé a konverter megbillentendő, hogy egy hőelem ill. egy próbavevő szonda (vagy próbavevő kanál) fürdőbe merítése révén a fürdő hőmérséklete és C-tartalma megmérhető lehessen. E próbavételek rutinvizsgálatok (a 2.29. ábra szerinti mérési adatok a 3.27. ábra szerinti műszereken rögzíthetők), eredményeiktől függően történik a kikészítés és a csapoláshoz előkészület. Ha a két célérték (a fürdő C-tartalma és hőmérséklete) az elvárásoknak megfelelő, úgy a konverter fenéken keresztüli alsó argonos átöblítéssel még a homogenizálás folytatandó. Miután meggyőződünk, hogy a csapolás megkezdésének semmilyen akadálya nincs, a konverter bukta- tásának megindításával a csapolás megkezdődik (3.28. ábra).



**3.28. ábra** A konverter buktatásának megindítása csapoláskor [2.13]

Ha a célértékek (hőmérséklet, C-tartalom) valamelyike a fúvatás végi ellenőrzésnél nem az elvárások szerinti, akkor a konverteradag nem csapolható, hanem a célértékek beállítása a soron következő feladat. Egyszerűbb a helyzet, ha csak a hőmérséklet túl magas, mert akkor vagy hűtőanyagok adagolásával, vagy az alsó argonos átöblítés intenzitásának növelése által a hőmérséklet csökkenthető rövid időn belül, viszont a gyakoribb eset, hogy vagy az elérendő C-tartalomnál magasabb a tényleges C-tartalom, vagy az acél hőmérséklete alacsony, akkor újólapon oxigénezéssel kell a hőmérsékleten javítanunk →ráfúvatás kezdődik. A ráfúvatás nyilván időbeli csúszást eredményez az adaggyártásban, növeli az oxigénszükségletet (180-250 ppm-mel emeli az acélfürdő oxigénaktivitását), az oxigénszint romlása miatt növeli a későbbi dezoxidálóanyag-szükségletet, növeli a salak FeO-tartalmát, megnöveli az alsó argonos átöblítés időszükségletét, ún. utánöblítést igényel, stb. A ráfúvatás legkritikusabb esete: ha alacsony a C-tartalom, s egyben alacsony a hőmérséklet is: ez esetben a hőmérséklet-növelés csak a vas oxidációjával oldható meg, ami nagyon megnöveli az acélfürdő oxigénszintjét. Csökkentendő ezért a ráfúvatások száma, de a statikus folyamatmodell esetén csupán egy ilyen ellenőrzés adhat támpontot arra, csapolható-e az acél vagy sem.

- Az ún. féldinamikus modell szubláncza alkalmazását igényli. Kezdetben ekkor is statikus folyamatmodellként gyártjuk az adagot, de szubláncza esetén a fúvatás vége előtt az oxigénláncza mellett a szublánczát a konverter buktatása nélkül a fürdőbe engedhetjük, s a fúvatás befejeztekor már – a klasszikus próbavétel és mérés időigénye nélkül – információnk van arról, hogy megszakítható-e a fúvatás, vagy sem.

**3.4. táblázat** A szubláncza szerepe a konverteres acélgyártásnál

Technológiai művelet	CÉL	HIBALEHETŐSÉG	MEGOLDÁSI LEHETŐSÉG
Fúvatás	Célértékek (..C,T) biztosítása	a találati biztonság kicsi	→C-bevitel, hűtés ráfúvatás



	<i>statikus ill. féldinamikus modell segítségével</i>		<i>szublándzsa mellett</i>
Ráfúvatás	$\Delta C$ ill. $\Delta T$ túlzott szórásának megszüntetése	Oxigénszint túlzott emelése	→ <i>Hatékony Ar-os utánöblítés</i>
Utánöblítés	<i>Homogenizálás, Oxigénszintcsökkentés</i>	<i>Lehülés</i>	→ <i>Hatékonyabb üst-metallurgia</i>

**Szublándzsa** előnyei:

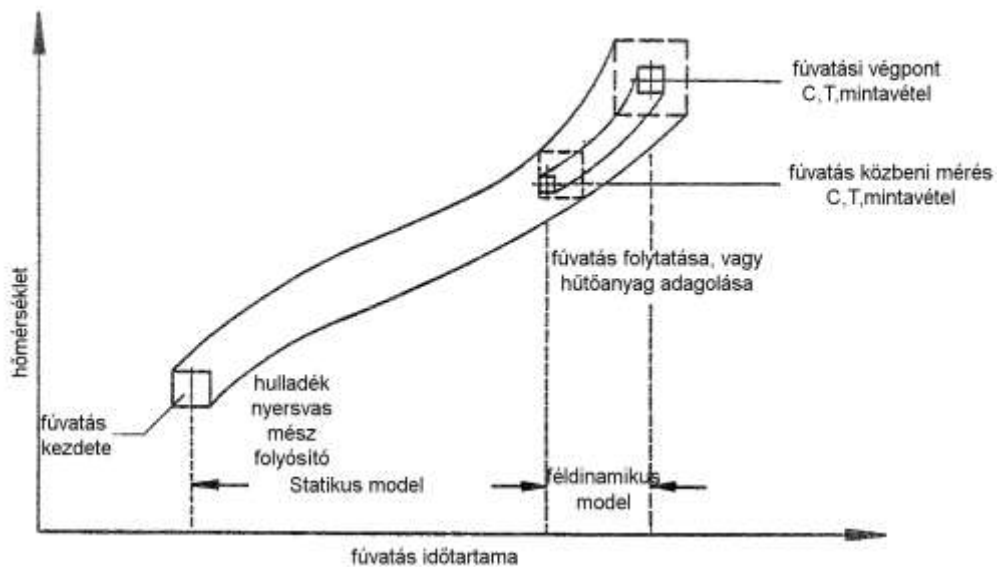
- Adagidő csökkenése (4-6 perc)
- Fajlagos nyersvasfelhasználás csökkenés (6-8 kg nyersvas/t acél megtakarítás)
- Oxigénfelhasználás-csökkenés (~1 m<sup>3</sup> /t acél)
- Deoxidálóanyagfelh.-csökkenés (0.05-0.2 kg Mn/t acél, ill. 0.04-0.06 kg Al/t acél)
- Falazattartósság -növekedés (10-15 %)
- Csapolási hőmérséklet-csökkenés (~8-12 °C)
- Utánfúvatás arányának csökkenése (~50%)
- Javulnak a munkakörülmények

**Ráfúvatás** hátránya: jelentősen ( $\Delta a_o = 180-250$  ppm) nő az oxigénszint

**Utánöblítés** előnye: a *homogenizálás* mellett eltüntetheti a ráfúvatásból eredően az *oxigénszint emelkedésre* vonatkozó hátrányokat

- A dinamikus modell ugyancsak a statikus modellek alkalmazásával indul (3.29. ábra), de a műszerezettség olyan fokát megvalósítva, hogy a legjellemzőbb paraméterek (hőmérséklet, összetétel) folyamatos mérései segítik az időbeni gyors és pontos korrekciót. Ma ez leginkább a füstgázok CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>-tartalmának folyamatos méréseire épül, ez lehetőséget ad a C-oxidáció végpontjának meghatározására mindennemű időtrabló műveletek elvégzése nélkül.

A dinamikus modell alkalmazása esetén kiküszöbölhető a ráfúvatás, így nem nő a túloxidáltság, utánöblítés nélkül is a konverter fenekén át történő Ar-os átöblítés a homogenizálás mellett az oxigénszintet, s főleg a nitrogéntartalmat elviselhetően alacsony szintre csökkenti. A szublándzsa előnyeinek felsoroltak mindegyike itt fokozottabb mértékben jelentkezik, egyetlen hátrány: a műszerezettség magas foka növeli a beruházási költségeket, s némiképp az üzemeltetés költségeit.



3.29. ábra A konverterezés szabályozási módjai [3.7]

### 3.7.4. Csapolás, dezoxidálás, szekunder salakképzés

Amennyiben az alkalmazott folyamatvezérlés végén a C-tartalom ill. a hőmérséklet alapján úgy ítélhető, hogy megkezdődhet a csapolás, úgy a 3.28. ábra szerint megdöntve a konvertert, a kis-mennyiségű, ún.elősalak kifolyása után az acélüstbe csapolható a konverteracél általában az alábbi összetétellel:

C :	~ 0,04 %
Mn:	0,1-0,4 %
Si:	<0,01 %
P :	0,008-0,02 %
S :	0,005-0,02 %
H :	~ 2 ppm
N:	~ 40 ppm
a <sub>o</sub> :	500-800 ppm

A fajlagos salak mennyisége 8-10 % , ennek visszatartása szükséges, mert általában erősen oxidos a salak , az üstmetallurgiában ez alkalmatlan.

CaO :	42-50 %
FeO :	15-30 %
SiO <sub>2</sub> :	10-15 %
MnO :	6-10 %
MgO :	4-6 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> :	~ 1 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :	~ 1 %
egyéb :	1-2 %

A salakvisszatartás lehetséges módjait a 2.19-2.22.ábrák mutatják.

A csapolás közben juttatják az üstbe a dezoxidáláshoz szükséges ötvöző anyagokat(FeMn, FeSi, Al, karbonizáló anyagok) A csapolás végén a primer salakot a salakvisszazáró berendezéssel visszatartják és az üstre égetett mész, folypát és aluminátsalak adagolásával szintetikus salakot képeznek.

### **3.7.5. Salakcsapolás, falazat és csapolónyílás ellenőrzés**

A folyékony acél lecsapolása után a konverterből salaktálba öntik a salakot. Ezt követően kerül sor a falazat és a csapolónyílás állapotának ellenőrzésére, amennyiben szükséges, ekkor történhet a falazat felszórásos javítása MgO tartalmú javítóanyag segítségével (3.2 ábra). A csapolónyílás tisztaságát is ellenőrizni kell, megelőzendő a következő adagnál jelentkező, eltömődött csapolónyílás okozta üzemzavaros csapolást.

## 4. SPECIÁLIS KONVERTERES ELJÁRÁSOK

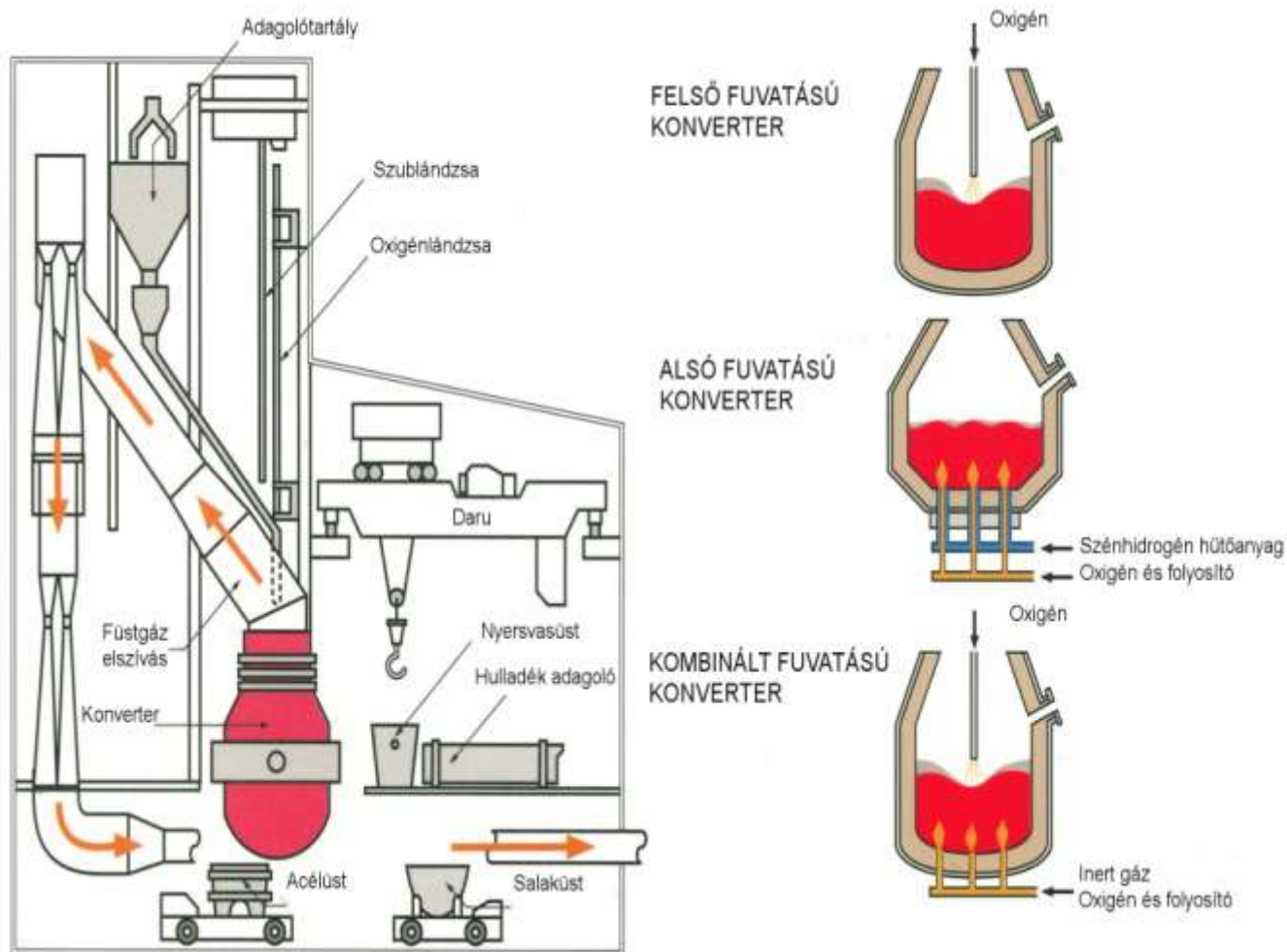
Az 1952-ben meginduló oxigén konverteres acélgégyártás (az ún.LD-eljárás) az azóta eltelt több, mint 60 év során számos fejlesztésen ment át. Az 50-es években a martinacélgégyártás volt a konkurens, de a 4.1.táblázatban szerepeltetett termelékenységet tekintve már a 60-as évekre kiderült, hogy az oxigénes konverterek messze megelőzték a martinacélgégyártás termelékenységét. Mindezt elsősorban az eredményezte, hogy az első 30 tonnás konvertereket egyre nagyobb kapacitású konverterek váltották fel, a 60-as évek második felében a felsőfúvású konverterek mellett megjelentek az alsófúvású konverterek, majd a 70-es évek második felétől a kombinált fúvatású konverterek.

**4.1. táblázat** A konverteres acélgégyártás és az elektroacélgégyártás átlagos paramétereinek összevetése 1950-re ill. 2010-re vonatkoztatottan

Paraméter		1950	2010
kemencekapacitás t	Konverterezés	30	400
	Elektroacélgégyártás	50	300
termelékenység t/ó	Konverterezés	50	750
	elektroacélgégyártás	20	650
adagidő perc	Konverterezés	45	35
	elektroacélgégyártás	180	35
max.hulladékarány %	Konverterezés	20	60
	elektroacélgégyártás	100	100

### **4.1. Alsófúvású ill. kombinált fúvású konverterek előnyei az LD-eljáráséhoz képest**

A felsőfúvatású oxigénes konvertereket az 50-es években alapvetően a P-szegény ércekből gyártott nyersvasak feldolgozására dolgozták ki, ahol a salakok foszfortalmának szabályozása nem okozott különösebb gondot. A P-dús nyersvasak felhasználása az LD eljárásnál viszont salakvezetési gondokat okozhat, ezért is alakították ki az LD-eljárást a magasabb foszfortartalmú betétekre is hasznosítani képes konverterezési technikákkal, ill dolgozták ki az alsófúvatású konverterezés technológiáját, hiszen az alsó fúvatás esetén kevésbé intenzív a salakmozgás, jobban érvényesülhetnek a fém-salak reakciókon alapuló folyamatok. Főleg a korábbi Thomas ércek lelőhelyei tájékán (Németország, Franciaország, Belgium, Luxembourg) volt aktivizálódás, hogy az alsófúvatású konverterek kifejlődhessenek :



**4.1 . ábra** A felső-, alsó-, ill. kombinált fűtású konverterek általános megoldásainak összevetése [3.4]

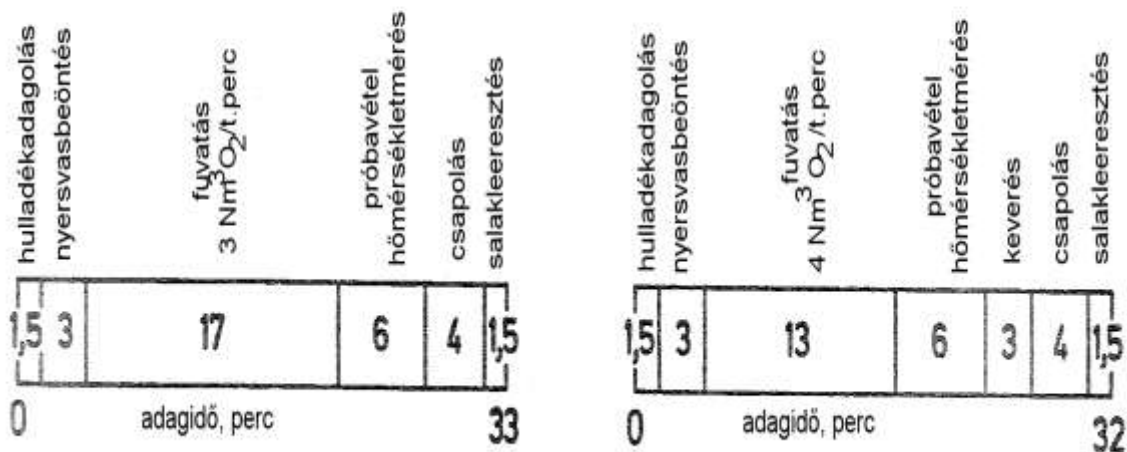
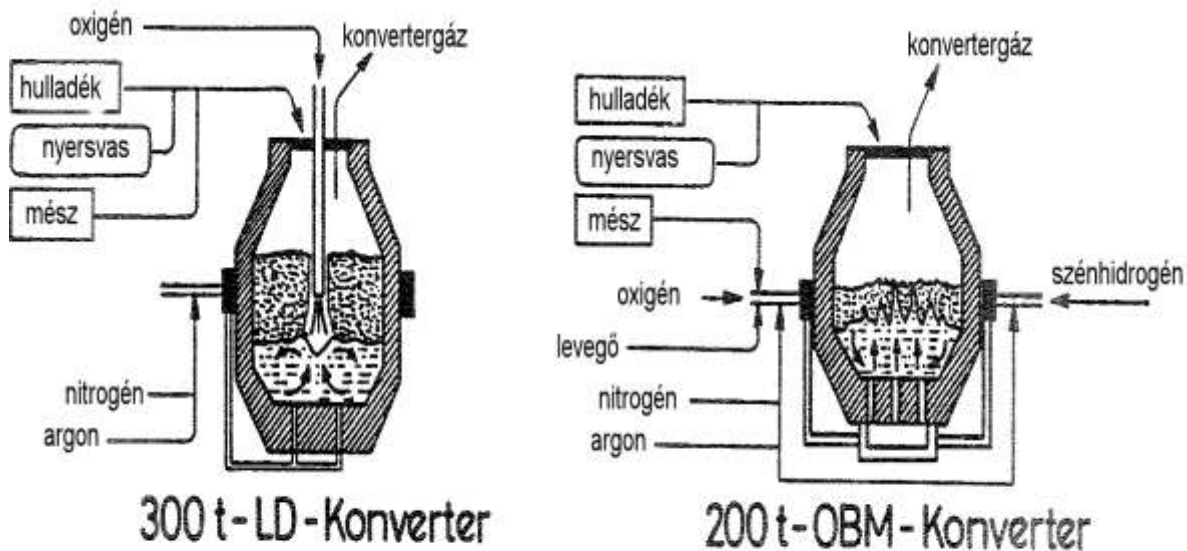
Megoldások az LD-eljárás fejlesztéseire:

- LD-AC (ARBED-CNRM)
- OLP (Oxygène-Lance-Poudre)
- LDP (Pompey)
- LDK (Krupp)
- LDS (Salzgitter)
- stb.

Új alsófűvású konverterezések:

- OBM (Oxygén-Boden-Maxhütte)
- QEK (Qualitäts- und Edelstahl Kombinát)
- LWS (Loire- Wendel- Sidelor)
- QBOP (Quiet-Basic Oxygen Process)
- stb.

Az LD-eljárás fejlesztései egy-egy részlet tekintetében jelentenek csupán módosításokat, alapjában a klasszikus LD-eljárás korábban ismertett sajátosságait hordozzák magukban. Merőben új megoldásokat jelentenek viszont az alsófűvátás megjelenései, amikor is az oxigén nem felülről, lánczán át jut a konverterbe elhelyezett vasolvadékba, hanem a fenéken keresztül kiépített oxigénbeviteli lehetőség a domináns (4.2. ábra).



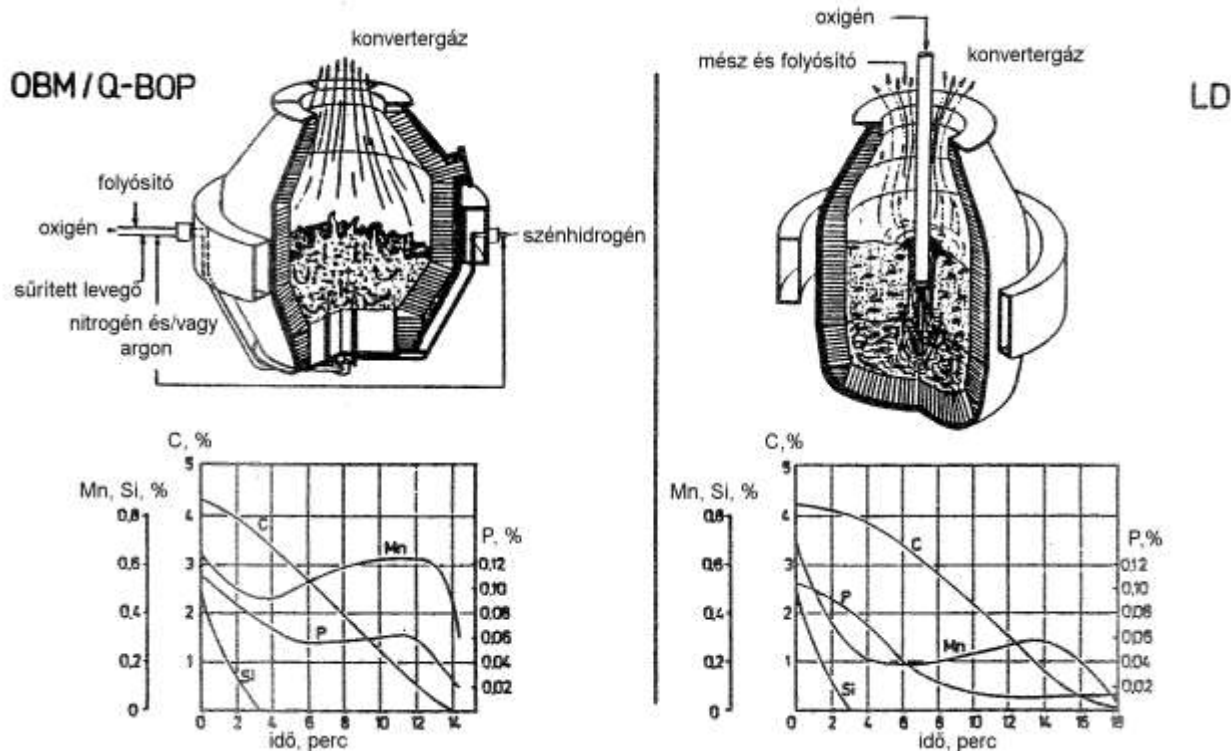
4.2. ábra Az alsófúvású OMB konverter adagvezetésének összevetése az LD-eljárás adagvezetésével [2.11]

A 4.2. ábra mutatja, hogy a klasszikus alsófúvatású OMB konverterekben az adagvezetés szinte ugyanaz, mint az LD-konvertereknél, különbség abban látszik, hogy a betét beadagolásánál a betétből kimarad a salakképző, s az oxigénbevittelt nem egy felülről beengedett lándzsa vezeti be, hanem a fenékre épített 5-15 fúvókán keresztül juttatják túlnyomással a vasműrdőbe az égetett mésszel együtt. Miután az oxigénlándzsánál fellépő oxigénvesztés a fenékfúvatásnál nincs, nagyobb mennyiségben vihető be oxigén, ami jobb hatékonysággal vesz részt az oxidációban, következésképp lerövidülhet az oxigénbefúvatás időtartama, s noha a salakképződés és a tisztulás érdekében hatékonyabb gázátöblítésre van szükség, a fenékfúvatásos konvertereknél valamelyes csökkenthető az LD-eljárás adagideje.

Fenekfúvatás során a metallurgia folyamatok az LD-eljáráséhoz hasonlóak azzal a különbséggel (4.3. ábra), hogy nagyobb foszfortartalom esetén a végső foszfortalanítás csak a karbonoxidáció befejezése után megy végbe, nagyobb a visszamaradó hidrogéntartalom, s ezért is szükséges intenzívebb és hosszabb időtartamú gázátöblítés. Nyilván az előnyök közé tartozik, hogy a fenékfúvatásnál az LD-vel szemben a vasműrdőgáz a harmadára csökken, a salak vasoxidtartalma kisebb, nyilván ez kedvezően hat az oxigénszükségletre (csapoláskor az oxigéntartalom 150-200 ppm-el kisebb, mint az LD-eljárásnál, noha a fenékfúvatásnál lejjebb vihető a C-tartalom, mint az LD-nél) és a

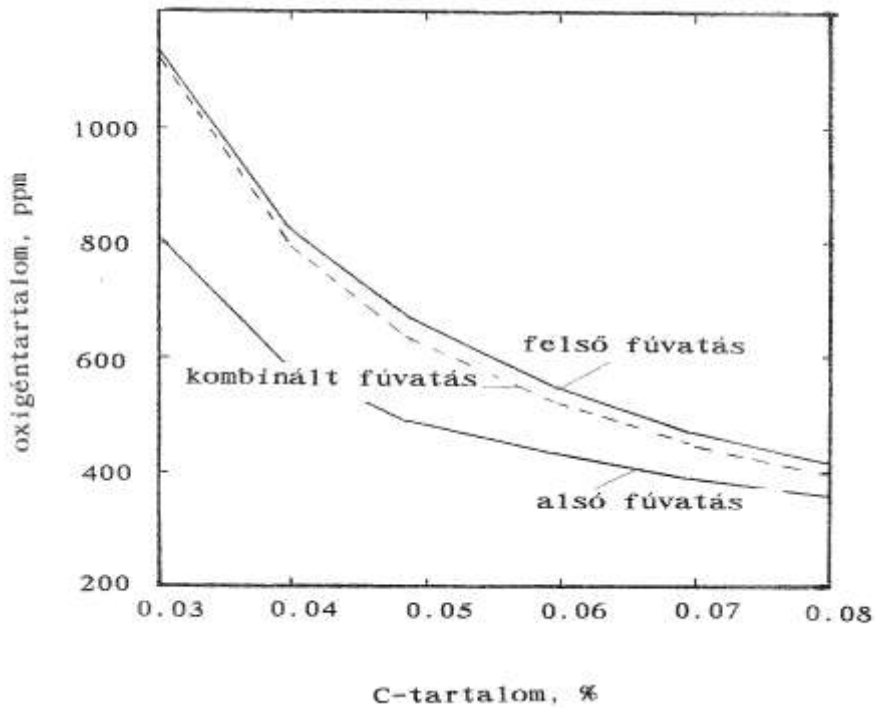
későbbi dezoxidálóanyag-szükségletre is (hátrány viszont, hogy az intenzívebb gázátöblítés ellenére magasabb marad a hidrogéntartalom).

Fentiekén túl előny, hogy a kisebb fröcskölődés, kidobási veszély miatt –azonos kapacitás mellett– kisebb (alacsonyabb) konverterekre van szükség, melynek beruházási költség- megtakarítása jelentős.

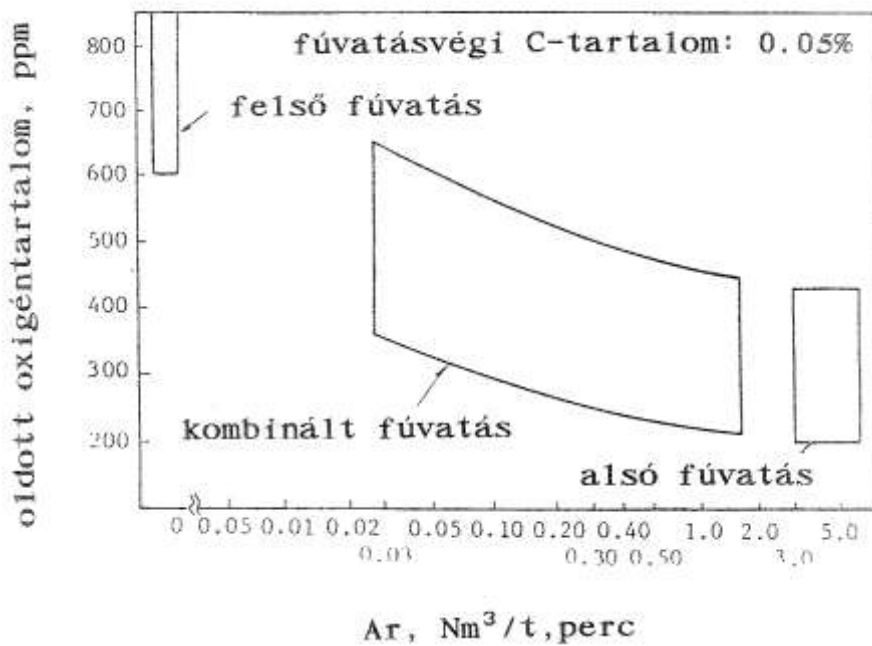


**4.3. ábra** Az alsófúvású konverterekben a fúvatási időszak alatt lejátszódó metallurgiai folyamatok a felsőfúvású, klasszikus LD-eljáráséhoz képest.[2.11]

Az alsófúvatású klasszikus OBM-konvertereknél a kisebb vasvesztés, ill. a távozó CO kisebb arányú utóégése miatt (ami a hőmérségben a bevételi tételek volumenének csökkenését jelenti) valamelyest alacsonyabb arányban ( az LD-beli 15-25 %-hoz képest 12-22%-ban) használható acélhulladék. Költségcsökkentés szempontjából feltétlen indokolt lehet új beruházás esetén megfontolni a kombinált konverterezési megoldások valamelyikét, mely részben azt célozza, hogy egyesítse az LD-eljárás ill. az alsó fúvatású konverterezés előnyeit (egyben csökkentve azok hátrányait), másrészt azt is célozza, hogy növelhessük az alsófúvású konverterezéseknél felhasználható hulladék arányát. A kombinált fúvatás során az oxigén 70-80 %-a a felsőfúvású konverter oxigénlándzsáján keresztül jut el a vasbetétbe, 20-30 %-a a fenékre épített fúvókákon keresztül. Nyilván ebből adódóan is már egyesíthetők az LD- és OBM-eljárás előnyei (4.4. ill. 4.5. ábra), de azzal, hogy pótlólagos energiahordozókat (főleg szénport) fújhatunk be felülről vagy alulról, ill. földgáz+oxigénnel javíthatunk a hulladék előmelegítésén, a felhasználható hulladék aránya szinte 60-65 %-ig is növelhető.



4.4. ábra A karbon oxigén összefüggés alakulása a különböző konverterezési technológiák gyakorlatában

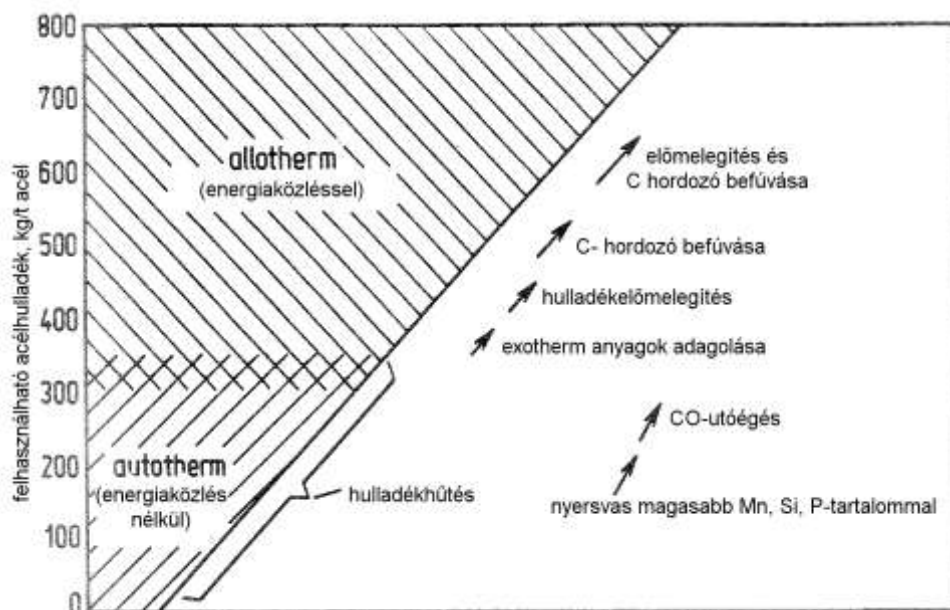


4.5. ábra A konverter fenéken keresztüli Ar-os gázátöblítés hatása az acélfürdő fúvatásvégi oldott oxigéntartalmára a különböző konverteres technológiáknál.



## 4.2. A felhasználható acélhulladék arányának növelhetősége a konverterezésnél

A konverteres eljárás fejlesztéseinél – főleg az elektroacélgyártással szembeni versenyképesség tekintetében – mindig is kiemelt gazdálkodási szempont volt a felhasználható acélhulladék arány növelhetősége. A felhasználható hulladék arányt nyilván elsősorban a hőmérleg beviteli oldala korlátozza, a bevétel tételét viszont technológiafejlesztéssel módosíthatók. A 4.6. ábra mutatja, hogy az egyes technológiai tényezők miként módosíthatják a hőmérleg beviteli oldalának növeléséből adódóan a felhasználható hulladék mennyiségét.

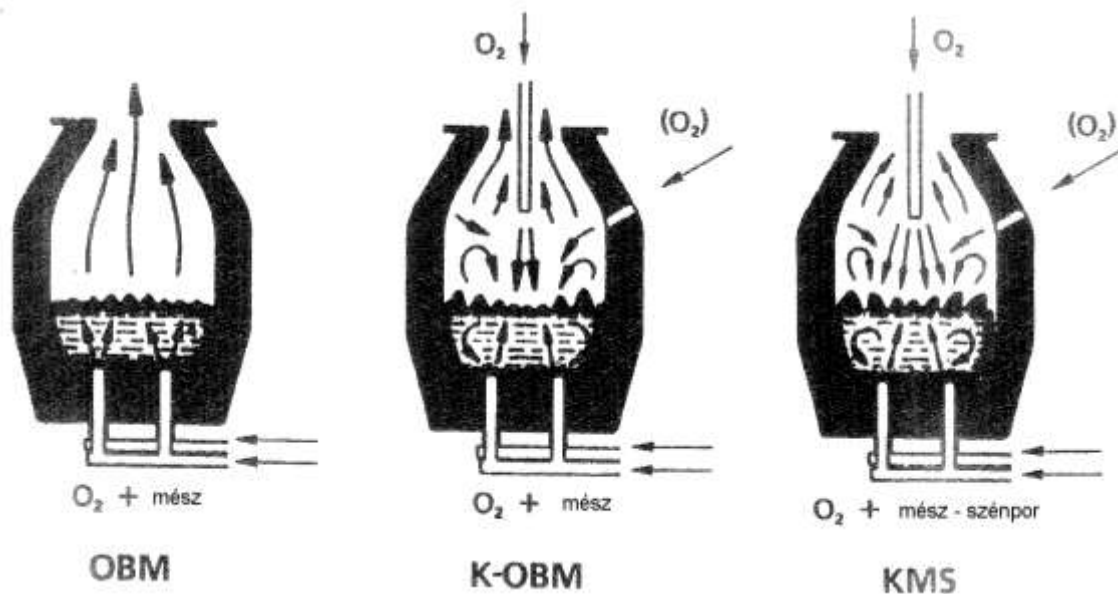


4.6. ábra Az egyes technológia lépések hatásai konverterezésnél a felhasználható hulladék mennyiségének növelhetőségére. [2.11]

A klasszikus LD-eljárásnál a hőmérleg egyrészt a nyersvas fizikai hőtartalmából, másrészt a nyersvas összetételéből adódó potenciális kémiai hőmennyiségből adódik össze, ez többnyire azt teszi lehetővé, hogy az acélhulladékot ún. hűtőanyagként 15-25 % mennyiségben használhatjuk. Amennyiben a nyersvasban magasabb Mn, Si, P-tartalmat engedhetünk meg, úgy növelhető a nyersvas kémiai hőtartalma, valamelyest növelhető a felhasználható acélhulladék-mennyiség. Ugyancsak kedvező, ha a távozó füstgáz CO-tartalmának egy része utánégetéssel CO<sub>2</sub>-vé alakul, hőfejlődés mellett, hiszen ez is javíthat a hőmérlegen.

Alsófűtás esetén némiképp csökken a hőmérleg beviteli oldala a kisebb vasvesztés és a CO-utánégés mértékének csökkenése miatt → az alsófűtás nem a hulladék arány növelés szempontjából, hanem elsősorban az oxigénfelhasználás hatékonyságának javulásából adódóan előrelépés.

A kombinált fűtás esetén viszont alaphelyzetben is növelhető a felhasznált hulladék arány, hiszen a befűtött oxigén 70-80 %-a felülről kerül be a rendszerbe (azaz így megközelíthető a klasszikus LD-eljárás hulladékfelhasználási képessége, itt viszont szinte korlátlanok a hőbeviteli lehetőségeink: élhetünk a hulladék előmelegítés lehetőségeivel, fűjhatunk be alulról-felülről-oldalról egyaránt C-hordozó anyagot, avagy végezhetjük mindezt együtt, s így akár 60-70 %-ig is növelhetjük a felhasználható hulladék arányt, ami véglegesen konkurenssé teszi az elektroacélgyártás bármilyen korszerűsítésével szemben is a konverteres acélgyártást.



4.7. ábra A kombinált fűtatású konverterekben a hulladékfelhasználási lehetőség növelése szénporbefűtéssel. [2.11]

### 4.3. Ötvözött ill. minőségi acélok gyártása konverterekből.

Mióta konverterezés folyik, törekvés, hogy az oxigén konverterekből is lehessen ötvözött, ill. minőségi acélt gyártani. Akkor lehet ugyanis a konverterezés igazi versenytársa az elektroacélgyártásnak, ha az oxigén konverter a minőség tekintetében is vetélytársa lehet az elektroacélgyártásnak. Miután maga a konverter erre nem alkalmas (annak ellenére, hogy nagyrészt az acélhulladéknál tisztább nyersvas a kiinduló betét), ezért mindig is kiegészítő (ún.duplex) eljárások szolgálták a minőség biztosítását.

Ez a 70-es években azt jelentette, hogy a nyersvasat eleve nagyolvasztón kívüli kezelésnek kellett alávetni, hogy a foszfortartalom, a kéntartalom az igényes kisebb mennyiségben is biztosítható lehessen, a gáztartalmak tekintetében pedig főleg a DH, RH-eljárások segítettek a járműipari acélokhoz szükséges alacsony hidrogén, nitrogéntartalom biztosításában a felsőfűtésű konverterezésnek.

A 80-as években -immáron az alsófűtés megjelenésével e duplex eljárások – egyrészt szükségessé is váltak a megnövekedett magasabb gáztartalom kiküszöbölésére, ugyanakkor garantálni tudták mindezt az alsó fűtésű OBM-konverterekből gyártható kisebb C-tartalmú acéloknál is. Mélyhúzható acéloknál, elektrotechnikai acéloknál a szuper alacsony karbontartalmú acélok előállítása így alacsony gáztartalmak mellett vált lehetővé.

A 90-es években a minőségi acélok gyárthatósága (és a salakvezetés megkönnyítése, továbbá gazdasági elvárásoktól indítva is) teljessé vált a nyersvas kohón kívüli kezelése (a P-talanítás és a hatékony kéntelenítés mellett a Si-tartalom csökkentése is), majd a csapolt konverteracél hatékony üstmetallurgia kezelése az igen alacsony C, S és gáztartalmak biztosítása céljából.

Külön kategóriát képez a 90-es évektől az ún. AOD-eljárás (Argon-Oxygen-Decarburization Process) megjelenése, mely elsősorban az extra kis karbontartalmú -stabilizálatlan- saválló acélok gyártását volt hivatott szolgálni úgy, hogy az acélhulladék és az ötvözők előolvasztása elektromos ívkemencében (vagy indukciós kemencében) történt, majd ezt a félterméket átöntve egy AOD-konverterbe rendkívül jó krómkihozatal mellett volt gyártható az igen kis karbontartalmú acél. Az

AOD-konverter betétanyaga tehát egy előzetesen átolvasztott nagy króm- ill. karbon tartalmú féltermék, s ebből kell a konverterben úgy egy igen kis karbon tartalmú acélt gyártani, hogy a Cr nagymérvű elsalakulása ne következzen be. E konverternél a konverter fenéken, oldalt több fúvókán át bevezetett argon-oxigén keveréknek a feladata a keletkező szénmonoxid parciális nyomásának a csökkentése, ami a minél tökéletesebb karbon oxidáció egyik fontos feltétele. Az AOD-eljárás versenyképessége e típusú acél gyártásában elsősorban az alacsonyabb tűzállóanyag költségekben van az elektroacél gyártáshoz képest.

## 5. KONVERTERADAG BETÉTÖSSZEÁLLÍTÁSA

A konverteres acélgyártás során nem történik közvetlen energiabevitel. A teljes energiabevitel a folyékony nyersvas fizikai (mérhető hőmérséklet) és kémiai hőtartalma (az oxidált alkotók – karbon, szilícium, mangán, foszfor – oxidációs hője) adja. Ennek kell fedeznie a hőkiadásokat (csapolt acél hőmennyisége, füstgáz által elvitt hő, konverter falazat által elvont hő, salakképzés hőigénye). Ha a teljes betét nyersvasból állna, akkor a bevitt és képződött hő meghaladná a kiadásokat, ezért hűtés céljából acélhulladékot kellene adagolni. Mivel az adaggyártás során, a bevételi és kiadási oldal nagyon sok paraméterből áll és ezek adagról-adagra változnak, ezért nagyon fontos az adott konverterre és technológiára vonatkozó anyag- és hőmérleg felvétele.

### 5.1. Hőmérleg

A hőmérleg összeállítása a konverteradagok betétszámításának fontos része. Erre a feladatra a legtöbb helyen számítógépes programot alkalmaznak, ahol a primeradatok bevételét és feldolgozását követően, a megtervezett szoftver megállapítja a betétalkotók (nyersvas, acélhulladék, égetett mész) pontos arányát. Ezek a szoftverek általában titkosítottak, elvi felépítésük és a számítási módszerük lényege, a 4.3.1.1. fejezetben kerül bemutatásra [13].

Egyszerűbb megoldást alkalmaznak az ISD Dunaferr acélművében, ami a 4.3.1.2. fejezetben olvasható.

#### 5.1.1. Hőmérleg elkészítéséhez szükséges adatok

A számítás elvégzéséhez – az adott üzemi viszonyok között fennálló – állandó és adagról adagra változó adatok felmérése szükséges.

- Állandó paraméterek:
  - csapolási tömeg,
  - oxigén összetétele, hasznosulása,
  - salakképzők összetétele,
  - reakciók során keletkező hőmennyiségek,
  - anyagokra vonatkozó fajlagos értékek (pl. fajlagos hőmennyiség)
  - füstgáz, illetve barnafüst mennyisége, összetétele, hőmérséklete,
  - salak FeO tartalma,
  - C oxidációja során keletkező CO:CO<sub>2</sub>-arány,
  - konverter tűzálló béléséből a salakba kerülő tűzállóanyag,
  - a salak hőmérséklete,
  - a salak képződése során keletkező hőmennyiségek (J/kg),
  - falazaton keresztüli hőveszteség aránya.

- 
- Változó adatok:
  - nyersvas összetétele,
  - hulladék összetétele,
  - a salak elérendő bázicitása,
  - acél csapolási hőmérséklete.

Az adatok felhasználásával kiszámítható a hőméreleg és ez alapján meghatározható a gyártandó adaghoz szükséges

- nyersvas tömege,
- hulladék tömege,
- a salakképzők tömege,
- felhasználandó oxigén mennyisége.

### 5.1.2. Hőméreleg számításához szükséges paraméterek átlagos értékei

- A nyersvas összetétele:
  - karbon  $C_{C-nyv}$  4-4,5 %
  - szilícium  $C_{Si-nyv}$  0,3-1 %
  - mangán  $C_{Mn-nyv}$  0,3-1 %
  - foszfor  $C_{P-nyv}$  0,04-0,1 %
  - kén  $C_{S-nyv}$  0,01-0,06 %
- Az acélhulladék összetétele:
  - karbon  $C_C^{acélhull.}$  0,1-0,2 %
  - szilícium  $C_{Si}^{acélhull.}$  0,1-0,2 %
  - mangán  $C_{Mn}^{acélhull.}$  0,2-0,3 %
  - foszfor  $C_P^{acélhull.}$   $\leq 0,03$  %
  - kén  $C_S^{acélhull.}$   $\leq 0,035$  %
- A nyersvas hőmérséklete:
  - $T_{nyv}$  1270-1330 °C
- A salak bázikussága
  - $b=3-3,5$
- A fémes betét összetétele:
  - a betét nyersvas-tartalma  $X_{nyv}$  75-85 %
  - a betét acélhulladék-tartalma  $Y_{acélhull.}$  15-25 %
- A karbon oxidációjának megoszlása:
  - a karbonoxidáció CO-ra eső része  $Z_{CO-CO_2}$  85 %
  - a karbonoxidáció CO<sub>2</sub>-ra eső része  $W_{CO-CO_2}$  15 %

Az oxidációhoz befűvott oxigén 98%-ban hasznosul, 99,5%-os tisztaságú. További alkotói nitrogén (0,1%) és argon (0,4%). A C oxidációja során keletkező CO:CO<sub>2</sub>-arányt 85:15-nek feltételezzük.

A reakciók során keletkező hőmennyiségek J/kg-ban:

$$\begin{aligned}
 Q_{C-CO} &= - 1,17 \cdot 10^7 \\
 Q_{C-CO_2} &= - 2,82 \cdot 10^7 \\
 Q_{Si-SiO_2} &= - 2,91 \cdot 10^7
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{Mn-MnO}} = -7,3 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{P-P}_2\text{O}_5} = -2,02 \cdot 10^7$$

$$Q_{\text{Fe-FeO}} = -4,58 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{Fe-Fe}_2\text{O}_3} = -7,20 \cdot 10^6$$

A salak bázikussága 3-3,5 közötti, a salak vastartalma 17%. Ez utóbbi FeO és Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alakban van jelen, részesezésük aránya 2:1. A salakképzőként felhasznált égetett mészetétele:

CaO	93%
MgO	1%
SiO <sub>2</sub>	2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2%
izzítási veszteség	2%

A salak hígfolysítására használt bauxit mennyisége 0,4% a fémbetétre vonatkoztatva. Összetétele:

CaO	1,78%
MgO	0,62%
SiO <sub>2</sub>	22,0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50,0%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,4%
S	0,40%
H <sub>2</sub> O	4,80%

A konverter tűzálló béléséből a salakba kerülő dolomit mennyisége 3 kg/t<sub>betét</sub>. Összetétele:

CaO	54,5%
MgO	38,0%
SiO <sub>2</sub>	4,00%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,50%
CO <sub>2</sub>	0,50%

A salak hőmérséklete 1670 °C.

A salak képződése során keletkező hőmennyiségek (J/kg):

$$Q_{2\text{CaO-SiO}_2} = -3,56 \cdot 10^6$$

$$Q_{3\text{CaO-P}_2\text{O}_5} = -1,12 \cdot 10^7$$

$$Q_{2\text{CaO-Fe}_2\text{O}_3} = -1,3 \cdot 10^5$$

$$Q_{\text{CaO-MgO}} = -2,23 \cdot 10^6$$

$$Q_{\text{CaO-Al}_2\text{O}_3} = -4,07 \cdot 10^5$$

A fémes betét 1%-a barnafüst (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) formában a füstgázzal együtt távozik, melynek hőmérséklete 1500 °C. A fémes betét további 1%-a mechanikusan bezáródik a salakba, illetve kidobódással távozik a konverterből. A falazaton keresztüli hőveszteség az összes hő 6 %-a. A hőmérleg összeállításához szükséges fajhő- és olvadáshő értékek az alábbiak:

### 5.1. táblázat Szilárd komponensek fajhő- és olvadáshő értékek

Nyersvas	0,851	J/gK	átlag
Acélhulladék	0,448	J/gK	20-50 °C
	1,36	kJ/g	50-1627 °C
	0,825	J/gK	1627-1800 °C
Égetett mész	0,752	J/gK	20-50 °C
	1,57	kJ/g	50-1627 °C
	1,2	J/gK	1627-1800 °C
Bauxit	0,88	J/gK	20-50 °C
	2,36	kJ/g	50-1627 °C
	1,28	J/gK	1627-1800 °C
Oxigén	1,31	J/gK	20-50 °C
	2,44	kJ/g	50-1627 °C
	1,67	J/gK	1627-1800 °C

### 5.2. táblázat Gázok fajhő értékei

Gázok fajhője [kJ/m <sup>3</sup> K]					
Hőmérséklet [K]	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N	SO <sub>2</sub>
1300	1883,2	3012,8	2327,9	1857,6	2988,1
1400	2045,6	3276,6	2540,1	2112,2	3247,1
1500	2200,1	3545,2	2758,2	2170,4	3510,6
1600	2289,3	3815,7	2978,9	2328,5	3778,1
1700	2525,9	4086,9	3165,2	2486,1	1049,9
1800	2690,4	4360,4	3429,7	2646,7	„„

### 5.1.3. Anyagmérleg számítása

#### 1. A fürdő oxidálendő alkotói:

$$C_{betét} = \frac{X_{nyv} \cdot C_C^{nyv} + Y_{acélhull} \cdot C_C^{acélhull}}{100} \quad [%]$$

$$\Delta C = C_{betét} - C_{acél} \quad [%]$$

$$Mn_{betét} = \frac{X_{nyv} \cdot C_{Mn}^{nyv} + Y_{acélhull} \cdot C_{Mn}^{acélhull}}{100} \quad [%]$$

$$\Delta Mn = Mn_{betét} - Mn_{acél} \quad [%]$$

$$Si_{betét} = \frac{X_{nyv} \cdot C_{Si}^{nyv} + Y_{acélhull} \cdot C_{Si}^{acélhull}}{100} \quad [%]$$

$$\Delta Si = Si_{betét} - Si_{acél} \quad [%]$$

$$P_{betét} = \frac{X_{nyv} \cdot C_P^{nyv} + Y_{acélhull} \cdot C_P^{acélhull}}{100} \quad [%]$$

$$\Delta P = P_{betét} - P_{acél} \quad [%]$$

### Oxidálódó elemek mennyisége:

$$\Delta_{oxid} = \Delta C + \Delta Mn + \Delta Si + \Delta P \quad [\%]$$

### 2. A fémes betét tömegének meghatározása:

$$m_{fémes\ betét} = m_{acél} + \frac{\Delta_{oxid}}{100} \cdot m_{fémes\ betét} + \frac{\Delta_{kivető\ dés}}{100} \cdot m_{fémes\ betét} + \frac{\Delta_{barnafüst}}{100} \cdot m_{fémes\ betét} \quad [t]$$

### 3. A kihozatal meghatározása:

$$k = \frac{m_{acél}}{m_{fémesbetét}} \cdot 100 \quad [\%]$$

### 4. Salakszámítások:

- A szükséges bauxit mennyiségének meghatározása

$$B = m_{fémes\ betét} \cdot B_{fajl.} \quad [t]$$

- A falazatból a fürdőbe jutó dolomit mennyisége

$$D = m_{fémes\ betét} \cdot D_{fajl.} \quad [t]$$

- A keletkező oxidok tömegének meghatározása

$$m_{CO} = Z_{CO-CO_2} \cdot \frac{M_{CO}}{M_C} \cdot \Delta_C \cdot m_{fémesbetét} \quad [t]$$

$$m_{CO_2} = W_{CO-CO_2} \cdot \frac{M_{CO_2}}{M_C} \cdot \Delta_C \cdot m_{fémesbetét} \quad [t]$$

$$m_{MnO} = \frac{M_{MnO}}{M_{Mn}} \cdot \Delta_{Mn} \cdot m_{fémes\ betét} \quad [t]$$

$$m_{SiO_2} = \frac{M_{SiO_2}}{M_{Si}} \cdot \Delta_{SiO_2} \cdot m_{fémes\ betét} \quad [t]$$

$$m_{P_2O_5} = \frac{M_{P_2O_5}}{M_{2P}} \cdot \Delta_P \cdot m_{fémes\ betét} \quad [t]$$

- A beadagolandó égetett mész tömege:

$$b = \frac{\Sigma CaO}{\Sigma SiO_2}$$



$$b = \frac{\dot{E} \cdot CaO^{\dot{E}} \% + B \cdot CaO^B \% + D \cdot CaO^D \%}{\dot{E} \cdot SiO_2^{\dot{E}} \% + B \cdot SiO_2^B \% + D \cdot SiO_2^D \% + SiO_2^{f\ddot{u}rd\ddot{o}bb\ddot{o}l}}$$

$$\dot{E}_{gyak.} = \dot{E} \cdot (1 + \text{vesztes\ddot{e}g}) \quad [t]$$

– A salak vasoxid-tartalmának meghatározása

$$C_{Fe}^{salak} = 17\%$$

$$FeO[\%] : Fe_2O_3[\%] = 2 : 1$$

$$L_{FeO/Fe_2O_3} = \frac{M_{FeO}}{M_{Fe}} \cdot \frac{2}{3} + \frac{M_{Fe_2O_3}}{M_{2Fe}} \cdot \frac{1}{3} = \frac{72}{56} \cdot \frac{2}{3} + \frac{160}{112} \cdot \frac{1}{3} = 1,33$$

$$C_{\Sigma \text{vasoxid}} = C_{Fe}^{salak} \cdot L_{FeO/Fe_2O_3} = 17 \cdot 1,33 = 22,61\%$$

– A vasoxid-mentes salak tömege

$$m_{salak}^{vasoxidmentes} = m_{MnO} + m_{SiO_2} + m_{P_2O_5} + \dot{E} + B \cdot (100 - C_{Fe_2O_3}^B) + D \cdot (100 - C_{Fe_2O_3}^D) \quad [t]$$

– A keletkező salak mennyiségének meghatározása

$$m_{salak} = \frac{100 \cdot m_{salak}^{vasoxidmentes}}{100 - C_{\Sigma \text{vasoxid}}} \quad [t]$$

– A salak összetételének meghatározása

$$MnO_{salak} = \frac{m_{MnO_{salak}}}{m_{salak}} \cdot 100 \quad [t]$$

$$MgO_{salakban} = (MgO^{\dot{E}} \% \cdot \dot{E}_{gyak.} + MgO^D \% \cdot D + MgO^F \% \cdot F) / m_{salak} \quad [\%]$$

### **5. Az oxigénszükséglet meghatározása:**

$$O_{CO} = \frac{M_{0,5O_2}}{M_C} \cdot Z_{CO-CO_2} \cdot \Delta C \cdot m_{f\ddot{e}mes \text{ bet\ddot{e}t}} \quad [t]$$

$$O_{CO_2} = \frac{M_{O_2}}{M_C} \cdot W_{CO-CO_2} \cdot \Delta C \cdot m_{f\ddot{e}mes \text{ bet\ddot{e}t}} \quad [t]$$

$$O_{MnO} = \frac{M_{0,5O_2}}{M_{Mn}} \cdot \Delta Mn \cdot m_{f\ddot{e}mes \text{ bet\ddot{e}t}} \quad [t]$$

$$O_{SiO_2} = \frac{M_{O_2}}{M_{Si}} \cdot \Delta Si \cdot m_{f\ddot{e}mes \text{ bet\ddot{e}t}} \quad [t]$$

$$O_{P_2O_5} = \frac{M_{2,5O_2}}{M_{2P}} \cdot \Delta P \cdot m_{\text{femes betét}} \quad [t]$$

$$O_{Fe_2O_3} = \frac{M_{1,5O_2}}{M_{2Fe}} \cdot c_{Fe_2O_3\text{-salak}} \cdot m_{\text{salak}} + \frac{M_{1,5O_2}}{M_{2Fe}} \cdot m_{\text{femes betét}} \cdot c_{\text{barnafüst}} \quad [t]$$

$$O_{FeO} = \frac{M_O}{M_{Fe}} \cdot c_{FeO\text{-salak}} \cdot m_{\text{salak}} \quad [t]$$

$$O_{\text{elméleti}} = O_{CO} + O_{CO_2} + O_{MnO} + O_{SiO_2} + O_{P_2O_5} + O_{Fe_2O_3} + O_{FeO} \quad [t]$$

$$O_{\text{gyakorlati}} = \frac{O_{\text{elméleti}}}{\gamma \cdot \eta} \quad [t]$$

### 5.1.4. A hőmérleg számítása

A konverteres acélgártáshoz szükséges hőmennyiség:

$$Q_{be} = Q_{\text{nyersvas}} + Q_{\text{hulladék}} + Q_{\text{exot. reakc.}} + Q_{\text{salakképz.}}$$

$$Q_{\text{nyersvas}} = c_{nyv} \cdot m_{nyv} \cdot \Delta T_{nyv} = 0,851 \cdot m_{nyv} \cdot (T_{nyv} - T_{\text{környezet}})$$

$$Q_{\text{hulladék}} = c_{hull} \cdot m_{hull} \cdot \Delta T_{hull} = 0,448 \cdot m_{hull} \cdot T_{\text{körny.}}$$

$$Q_{\text{exot. ox. reakc.}} =$$

$$\left. \begin{aligned} Q_{CO} &= Z_{CO-CO_2} \cdot \Delta C \cdot 10^3 \cdot |Q_{C-CO}^{ox}| \\ Q_{CO_2} &= W_{CO-CO_2} \cdot \Delta C \cdot 10^3 \cdot |Q_{C-CO_2}^{ox}| \\ Q_{Si-SiO_2} &= \Delta Si \cdot 10^3 \cdot |Q_{Si-SiO_2}^{ox}| \\ Q_{P-P_2O_5} &= \Delta P \cdot 10^3 \cdot |Q_{P-P_2O_5}^{ox}| \\ Q_{Mn-MnO} &= \Delta Mn \cdot 10^3 \cdot |Q_{Mn-MnO}^{ox}| \\ Q_{Fe-FeO} &= FeO_{\text{salak}} \cdot 10^3 \cdot |Q_{Fe-FeO}^{ox}| \\ Q_{Fe-Fe_2O_3} &= Fe_2O_{3\text{salak}} \cdot 10^3 \cdot |Q_{Fe-Fe_2O_3}^{ox}| \end{aligned} \right\} \Sigma Q^{ox}$$

$$Q_{\text{salakképz.}} =$$

$$Q_{3CaO \cdot P_2O_5} = m_{P_2O_5} \cdot 10^3 \cdot Q_{3CaO \cdot P_2O_5}^{\text{salak}}$$

$$Q_{2CaO \cdot Fe_2O_3} = \left( B \cdot \frac{Fe_2O_3^B}{100} + F \cdot \frac{Fe_2O_3^F}{100} + \acute{E} \cdot \frac{Fe_2O_3^{\acute{E}}}{100} \right) \cdot 10^3 \cdot |Q_{2CaO \cdot Fe_2O_3}^{\text{salak}}|$$

$$Q_{CaO \cdot MgO} = \left( B \cdot \frac{MgO^B}{100} + F \cdot \frac{MgO^F}{100} + \acute{E} \cdot \frac{MgO^{\acute{E}}}{100} \right) \cdot 10^3 \cdot |Q_{CaO \cdot MgO}^{\text{salak}}|$$

$$Q_{CaO \cdot Al_2O_3} = \left( B \cdot \frac{Al_2O_3^B}{100} + F \cdot \frac{Al_2O_3^F}{100} + \acute{E} \cdot \frac{Al_2O_3^{\acute{E}}}{100} \right) \cdot 10^3 \cdot |Q_{CaO \cdot Al_2O_3}^{\text{salak}}|$$

$$Q_{2CaO \cdot SiO_2} = SiO_2^{\text{fürdőből}} \cdot 1000 \cdot |Q_{2CaO \cdot SiO_2}^{\text{salak}}| + \left( B \cdot \frac{SiO_2^B}{100} + F \cdot \frac{SiO_2^F}{100} + \acute{E} \cdot \frac{SiO_2^{\acute{E}}}{100} \right) \cdot 10^3 \cdot |Q_{2CaO \cdot SiO_2}^{\text{salak}}|$$

### 5.1.5. A hőfelhasználás

$$Q_{ki} = Q_{acél} + Q_{salak} + Q_{füstgáz} + Q_{hővesztés}$$

$$Q_{cél} = c_{acél} \cdot m_{acél} \cdot \Delta T_{acél} = 0,851 \cdot m_{cél} \cdot 10^6 \cdot (T_{acél} - T_{környezet})$$

$$Q_{salak} = 10^6 \cdot \dot{E} \cdot (c_{20-50}^E \cdot T + c_{50-1627}^E + c_{1627-1670}^E \cdot (T_{1670} - T_{1627})) + 10^6 \cdot B \cdot (c_{20-50}^B \cdot T + c_{50-1627}^B + c_{1627-1670}^B \cdot (T_{1670} - T_{1627}))$$

$$Q_{füstgáz} = Q_{CO} + Q_{CO_2} + Q_{H_2O}$$

$$Q_{CO} = V_{CO} \cdot T_{átl.} \cdot c_{CO}$$

$$Q_{CO_2} = V_{CO_2} \cdot T_{átl.} \cdot c_{CO_2}$$

$$Q_{H_2O} = V_{H_2O} \cdot T_{átl.} \cdot c_{H_2O}$$

$$T_{átl.} = (T_{nyersvas} + T_{acél}) \cdot 0,5$$

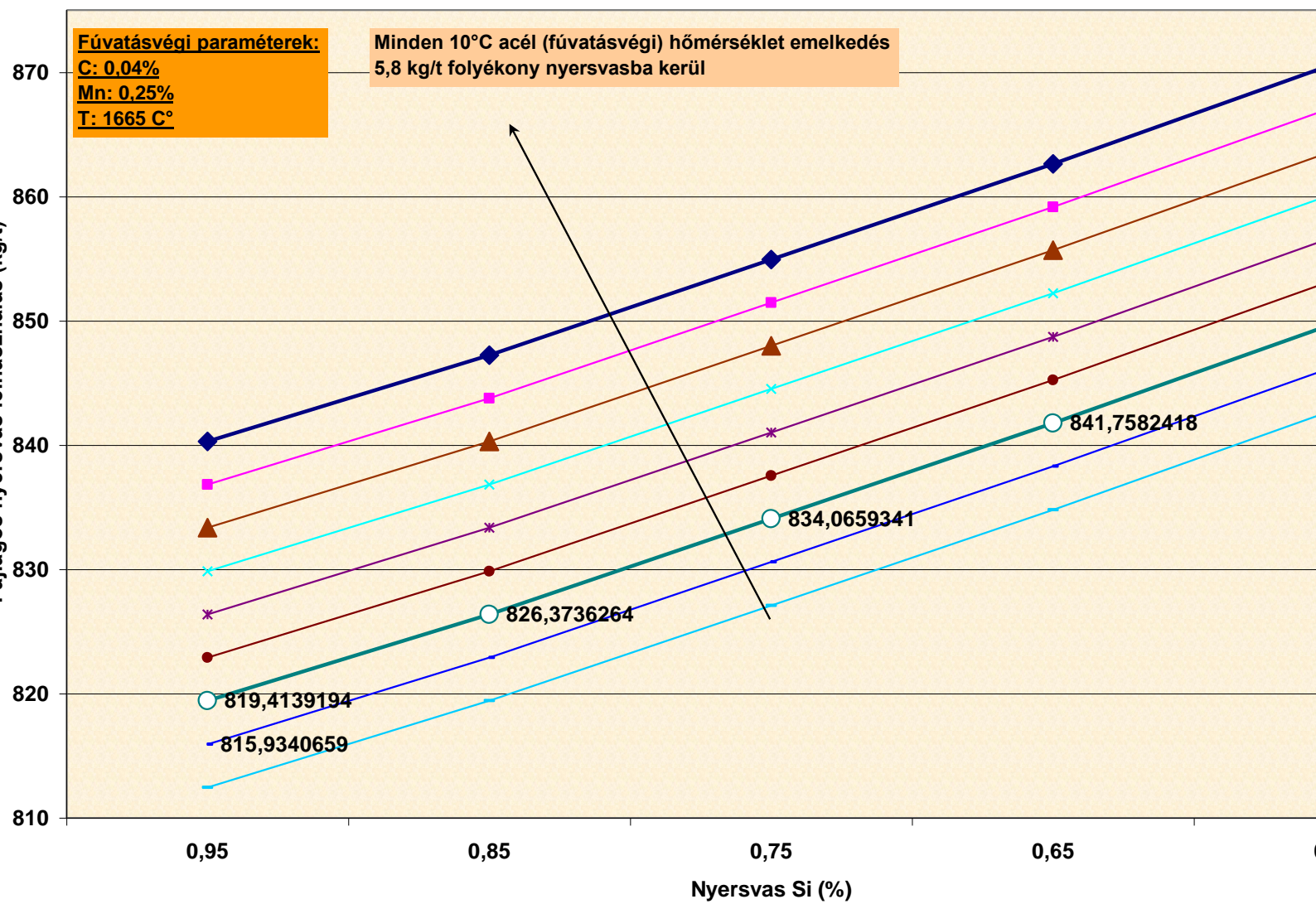
$$V_{CO} = O_{CO} \cdot \frac{22,41}{M_{CO}}$$

$$V_{CO_2} = O_{CO_2} \cdot \frac{22,41}{M_{CO_2}}$$

$$V_{H_2O} = (C_{H_2O}^E \cdot \dot{E} + C_{H_2O}^D \cdot D + C_{H_2O}^F \cdot F) \cdot \frac{22,41}{M_{H_2O}}$$

### 5.2. Hőmérleg meghatározása diagram alapján

Vannak üzemek – ilyen a Dunaferri is – ahol nem alkalmaznak számítógépes programot betétösszeállításhoz, mivel jó biztonsággal tartani tudják a stabil betétviszonyokat és a fúvatásvégi összetétel is csekély mértékben változik. Ekkor alkalmazható egyszerűbb betétösszeállítás is, mint például diagram alkalmazása (4.14. ábra), ahol csak a nyersvas szilíciumtartalma és hőmérséklete, illetve az acél fúvatásvégi célhőmérséklete változik.



4.14. ábra Betétösszeállításakor alkalmazható, jó közelítésű diagram

## 6. OXIGÉNES KONVERTER ACÉLGYÁRTÁS

([www.steeluniversity.org](http://www.steeluniversity.org))

A [www.steeluniversity.org](http://www.steeluniversity.org) oldalon (6.1. ábra) található a vas- és acélgyártás témakörére vonatkozó e-learning tananyag. A program *Steel processing* modulja az alábbi egységekből áll:

- virtuális gyártási útvonal áttekintése (Process Route Overview),
- nagyolvasztó (Blast Furnace),
- oxigénes konverter (Basic Oxygen Steelmaking) (6.2. ábra),
- ívfényes elektrokemence (Electric Arc Furnace),
- üstmetallurgia (Secondary Steelmaking),
- folyamatos öntés (Continuous Casting),
- meleghengelés (Hot Rolling),
- acél hőkezelése (Heat Treatment of Steel).



6.1. ábra steeluniversity.org nyitóoldala



6.2. ábra Oxigénes konverter acélgyártás nyitóoldala

### 6.1. Konverteres acélgyártás elmélete

#### 6.1.1. Bázikus oxigénes acélgyártás: bevezetés

A Bázikus Oxigénes Acélgyártás (BOS) eljárásának az a célja, hogy a nagyolvasztóban termelt folyékony nyersvasat olyan nyers folyékony acéllá finomítsa, amit az üstmetallurgiai kezelés során lehet kikészíteni.

A Bázikus Oxigénes Konverter (BOS) fő funkciója, hogy a folyékony nyersvasat dekarbonizálja és foszfortalanítsa, valamint úgy optimalizálja az acél hőmérsékletét, hogy a öntés előtti további kezeléseket lehessen kivitelezni az acél minimális újrahevítésével vagy hűtésével.

A BOS folyamán végbemenő exotermikus reakciók nagy mennyiségű hőenergiát hoznak létre – többet, mint amennyi szükséges az acél előírt hőmérsékletének eléréséhez. Ezt a fölös hőt használják fel a hulladék/vagy vasérc-betétek felolvasztásához.

A nyersvas betét és a lecsapolt acél jellemző összetétele az alábbi:

	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%O	Hőmérséklet/°C
Folyékony nyersvas	4,7	0,2-0,3	0,2-1,5	0,06-0,12	0,02	0,0	1350-1400
Acél	0,05	0,1	0,0	0,01-0,02	0,01-0,02	0,06	1620-1720

## Tanulmányi eredmények erre a fejezetre vonatkozóan

A fejezet elsajátítása után a hallgató képes lesz:

- Leírni az oxigénkonverteres acélgéártást folyamatot.
- Felsorolni és kifejtetni a BOS-eljárás során végbemenő fő kémiai reakciókat, különös tekintettel a dekarbonizációra, a salak kialakítására és szabályozására, továbbá foszfortalanításra.
- Gondoskodni egy virtuális BOS-műről és átalakítani – minimális költségen – a nagyolvasztóból vagy a kéntelenítő állomásról jövő folyékony nyersvasat a szekunder acélgéártáshoz kész acéllá.
- Meghatározni a szimuláció során: milyen adalékokat és mikor kell bejuttatni; mikor kell az O<sub>2</sub>-t befúvatni és mikor leállítani azt, milyen folyamat-paramétereket kell mérni és monitorozni; hogyan kell válaszolni a lehetségesen felbukkanó eseményekre; mikor kell csapolni.
- Leírni a BOS konvertert és néhányat a kiszolgáló berendezésekből.
- Kifejtetni a különböző folyamatszabályozó paramétereket, szenzorokat és modelleket.

### 6.1.2. Az acélgéártás története

A régmúltban az acélt felhevített vas levegőn való kovácsolása útján nyerték. A korszerű acélgéártás 1850 körül indult Bessemerrel, aki egy szilikabélésű, alsó fúvású konverterben lévő folyékony nyersvason át fúvatott levegő segítségével állított elő acélt.

1879-ben Thomas bázikus (dolomit) bélés és bázikus salakképző alkalmazását vezette be, lehetővé téve Európa sok helyén megtalálható nagy foszfortartalmú ércekből olvasztott nyersvas rafinálását sűrített levegőbefúvásos módszer alkalmazásával.

A következő nagyobb fejlesztés a levegő ipari oxigénnel való felváltása volt. Ezt 1952-53-ban fejlesztették ki Ausztriában, Linzben és Donawitzben, bevezetve a függőleges lándzsás felülről való fúvatást, mivel a fenék tűzálló anyagai nem tudtak ellenállni a tiszta oxigénnek. Manapság a legtöbb acélműben LD vagy BOP néven ismert acélgéártási eljárást telepítenek.

Sikeres fenékfúvású oxigénes acélgéártó eljárást fejlesztettek ki az 1970-es években, szénhidrogén gázokkal (propán vagy földgáz) vagy olajjal védett fúvókák alkalmazásával. Ezeknek a szénhidrogéneknek krakkolódása hűti a fúvóka-zónában levő tűzálló anyagot. A megfelelő

folyamatok OBM-ként, Q-BOP-ként és LWS-ként ismertek. Előnyeik egyike az igen hatékony fém-salak keveredés az oxigénes fúvatás során.

Az utolsó lépés az 1970-es évek végén kifejlesztett kevert fúvatás. Egy korlátozottan oldódó inertgáz (argon vagy nitrogén) vagy oxigén befúvatás a felső fúvású konverter fenekén hatékony keverést biztosít. A megfelelő eljárások LBE, LET, K-BOP, K-OBM néven ismertek és ezekkel van felszerelve most a legtöbb felső fúvású konverter.

A folyékony nyersvas foszfortalanítását 1980-as évek elején fejlesztették ki Japánban. Ennek a kezelésnek során a folyékony nyersvas foszfortartalmának nagyobb részét távolítják el oxidáló folyósítók (égetett mész és érc keveréke) alkalmazásával a nyersvas üstben, a konverterbe adagolás előtt. Ezt a kezelést eddig nem alkalmazták Japánon kívül.

### 6.1.3. Az acélgyártás termodinamikája

#### Karbon telítettség a folyékony nyersvasban

A nagyolvasztóból származó folyékony nyersvas C-tartalmát általában nem elemzik. Ehelyett a  $C_{\text{telítési}}$  feltételezett értéke a folyékony nyersvasra:

$$\%C_{\text{telítési}} = 1,3 + 0,00257 \times T_{\text{FNy}} (\text{°C}) - 0,27 \% \text{Si} - 0,33 \% \text{P} + 0,027 \% \text{Mn} - 0,36 \% \text{S}$$

#### Egyszerű salakrendszerek

A bázikus oxigénes acélgyártásban használatos salakok rendszerint közeli a ternár a  $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$  oxidrendszerhez. Bár a valós élet salakjai nem szigorúan ternérek, mivel 3-nál több alkotójuk van, bizonyos tulajdonságokat jó eredményességgel lehet megbecsülni a sokfázisú tulajdonság-diagrammok alkalmazásával. Egy példa látható ilyen típusú diagramra, ebben az esetben azt mutatja a diagram, hogy a likvidusz régió változik a salakösszetétellel, a három oxid,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  és  $\text{FeO}$  vonatkozásában.

#### A kikészítő salakok fázisdiagramjai

A kisebb alkotók hatása a  $2\text{CaO-SiO}_2$  és a  $3\text{CaO-SiO}_2$  szilikátok oldhatósági határaitra:

- 1 %  $\text{MnO}$  egyenértékű 1 %  $\text{FeO}$ -val,
- 1 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  egyenértékű 1,5 %  $\text{FeO}$ -val ( $\text{C}_3\text{S}$ -ra) és 2,2 %  $\text{FeO}$ -val ( $\text{Ca}_2\text{S}$ -ra),
- 1 %  $\text{CaF}_2$  (vagy  $\text{Na}_2\text{O}$ ) egyenértékű 1,5 %  $\text{FeO}$ -val ( $\text{Ca}_3\text{S}$ -ra) és 2,2 %  $\text{FeO}$ -val ( $\text{Ca}_2\text{S}$ -ra).

$\text{MgO}$ -telítettség (fúvatás végi salakok):

$$\% \text{MgO}(\text{tel}) = 8,5 + 0,006(T-1650) + 0,25(\% \text{Fe}) - 2(\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \% \text{P}_2\text{O}_5))$$

ahol T a hőmérséklet °C-ban.

#### Foszfor- megoszlási arány

50 °C hőmérséklet-növekedés az  $L_P$  1,6(CaO/SiO<sub>2</sub> = 3)-ról 1,4(CaO/SiO<sub>2</sub> = 10)-ra csökkenését idézi elő

$$L_P = (\%P)_{\text{salak}} / [\%P]_{\text{acél}} \text{ (egyensúly esetén)}$$

### **Kén-megoszlási arány**

A folyékony salakok tartományában  $L_S$  gyakorlatilag nem hőmérsékletfüggő

$$L_S = (\%S)_{\text{salak}} / [\%S]_{\text{acél}} \text{ (egyensúly esetén)}$$

### **Mangán-megoszlási arány**

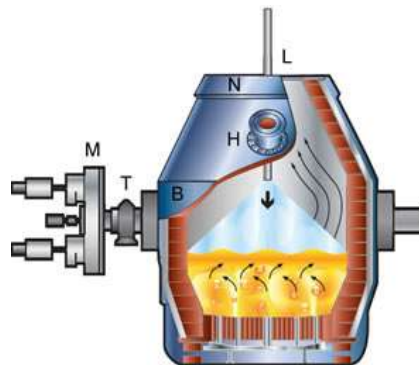
50 °C növekedés az  $L_{Mn}$  csökkenésére vezet ~1,25 arányban

$$L_{Mn} = (\%Mn)_{\text{salak}} / [\%Mn]_{\text{acél}} \text{ (egyensúly esetén)}$$

## **6.2. A konvertertest leírása**

A konverter (vagy reaktor) olyan, belső tűzálló (magnezit vagy dolomit) béléssel ellátott acélköpenyes szerkezet, amelyet kettős csappal ellátott, buktató rendszerrel mozgatott erős acélgyűrű hordoz. A konverter belső térfogata 7-12-szer nagyobb, mint a kezelendő acélé annak érdekében, hogy korlátozza az oxigén fúvással előidézett fém-kidobódások zömét a salak habosítás alatt kialakuló hömpölygésével együtt.

Ez a jellemző konverter geometria (6.3. ábra) a torkot (N), az oxigén lándzsát (L), a kettős-csap-övet (B), a csapot (T), a buktató szerkezetet (M) és a csapoló nyílást (H) mutatja be.



**6.3. ábra** Konverter részei

A jellemző kapacitás 200-300 tonna folyékony acél, a csapolástól csapolásig eltelt ciklusidő – ezen belül 15 perces oxigén-fúvatósi periódus – körülbelül 30 perc.



### 6.3. Beviendő anyagok, adalékok és termékek

#### 6.3.1. A konverterbe adagolt nyersanyagok:

- A nagyolvasztóból származó „folyékony nyersvas” specifikus előkezelések, pl. kéntelenítés vagy foszfortalanítást követően.
- Más vastartalmú adalékanyagok, főleg hulladék és érc, úgy meghatározva, hogy megfeleljen a termikus egyensúlynak és biztosítsa a megkívánt hőmérsékletet.
- A megfelelő összetételt biztosító salakképzők, főleg égetett mész (CaO) és égetett dolomit (CaO-MgO) szokásosan 20-40 mm-es darabokban.
- A soklyukú lándzsán vagy fenékfúvókákon befűvott tiszta oxigén.

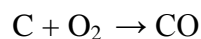
#### 6.3.2. A fúvatási művelet befejezése után képződött anyagok:

- folyékony acél,
- CO-ban dús (80-90%-os) füstgázok, melyeket a zárt térben, késleltetett elégetéssel gyűjtenek össze és az újrahevítő kemencék égőiben használják fel gyakran,
- salak, melyet az acél után öntenek ki a konverterből.

Mind a gáz, mind a salak értékes melléktermékek, feltételezve a megfelelő visszanyerést és tárolást.

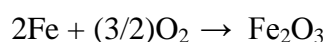
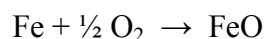
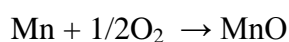
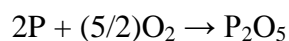
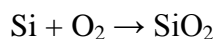
### 6.4. Kémiai reakciók

A folyékony fémbetét gyors oxidációs reakciókkal finomodik a befűvott oxigén révén, olyan körülmények között, amelyek messze esnek – a jelenlevő többi elemmel együtt – a termodinamikai egyensúlytól:



A CO részlegesen CO<sub>2</sub>-dá oxidálódik a fürdő felett (utóégetés). Ezeket a gázalakú reakciótermékeket a konverter száján át szívják el. A CO<sub>2</sub> / (CO+CO<sub>2</sub>) arányt utóégetési hányadosnak (UÉH) hívjuk.

A kikészítés alatt végbemenő egyéb reakciók:



Ezek az oxidok a többi beadagolt oxiddal (égetett mész, égetett dolomit) együtt folyékony salakot képeznek, amelyek fémfürdő felszínére szállnak fel.

### **6.4.1. Az oxigénsugár becsapódási reakciói a felső fúvatású konvertreknél**

A becsapódáskor az elemek (Fe, C, Si stb.) a fémekben levő mennyiségük arányában oxidálódnak. Ezeket a primer oxidokat utána az olvadékba (behatoló sugár, alsó lándzsaállás) vagy a salakba (lágú fúvatás, magas lándzsaállás) ejektálják. A cseppecskében levő FeO a fémeken áthaladva csak kismértékben redukálódik a C-nal, csak ha a Si-tartalom nagy (a fúvatás elején), vagy ha a kARBONTARTALOM kicsi (a fúvatás végén). A közvetlenül a salakba ejektált cseppecskékbe zárt FeO növeli annak FeO-tartalmát. Ez a habos salak hevesen reagálhat a fém cseppecskékkel „kidobódást” idézve elő.

### **6.4.2. Az oxigén gázsugár becsapódási reakciói alsó fúvatású konvertrekre**

Becsapódáskor az elemek (Fe, C, Si stb.) a fémekben levő mennyiségük arányában oxidálódnak. Ezek a primer oxidációs termékek áthaladnak a fémeken és a C-nal hatékonyan redukálódnak. Csupán a fúvatás legvégén dúsulhat fel a salak FeO-ban és halmozódhat fel benne. Éppen ez a szakasz az, amelyben kialakul a foszfortalanító salak. Mindazonáltal igen hatékony a foszfortalanítás a nagyon erőteljes fém-salak keveredés miatt.

### **6.4.3. Tömeg-és hőmérleg**

A tömeg-és hőmérlegek alapvető eszközök az alábbiakra:

- betétszámítás,
- a kikészítő lépés szimulációja (az acél összetételének és hőmérsékletének alakulása a fúvatás során),
- bizonyos entitások (pl. salak) összetételének beállítása,
- az acél hőmérsékletének beállítása,
- elemzés az anyag- és hőveszteségek kiértékelésére.

Az elterjedt acélműi gyakorlatnak két, egymástól nagymértékben különböző típusa létezik. FügG a gazdasági körülményektől (a folyékony fém és a kereskedelmi hulladék arányai), a preferált hűtőanyagoktól, ami vagy hulladék, vagy vasérc. Azonban a legtöbb esetben egy bizonyos mennyiségű belső keletkezésű hulladékot reciklálni kell, ha a maximális vasércbetét a gazdaságosabb, akkor kismennyiségű ércet adagolnak a hőmérséklet-beállításra akkor, illetve ha gazdaságosabb, akkor maximális arányú a hulladékbetét.

### **6.4.4. Végpont szabályozás**

A statikus betétszámítás az oxigén és a hűtő anyag-igények becslésére szolgál. Végző beállításra 2-3 perccel a fúvatás várható vége előtt kerül sor. Ezeket a beadagolásokat például szublándzsás vagy bEMERÍTŐ HŐELEMES MÉRÉSEK ALAPJÁN VAGY (GÁZANALIZIS ALAPJÁN) BECSÜLT %C és az ebben az időpontban végzett hőmérsékletmérés alapján számítják ki.

#### 6.4.5. Fúvóka kialakítás felső fúvatású konverterek esetén

Vízhűtéses lándzsát alkalmaznak nagy sebességű oxigén áram fürdőbe injektálásához. szuperszonikus sugarat állítanak elő konvergens/divergens fúvókákkal és biztosítják a jól meghatározott és szabályozott behatolási jelleget annak érdekében, hogy hatékonyan hozzák létre a megkívánt acélgyártó reakciókat és maximalizálják a lándzsa élettartamát (tipikusan 200-400 adag). A lándzsacsúcsnak tipikusan 3-5 lyuka van.

#### 6.4.6. Fúvóka kialakítás fenékfúvatású konverterek esetén

Az oxigént a konverter fenekén levő 14-22 fúvókasoron keresztül injektálják. Ezek két koncentrikus csőből állnak, ahol az oxigén a központi csövön áramlik át és a két cső közti gyűrűalakú résen hűtőként használt folyékony szénhidrogén áramlik. Jellemzően 4-4,5 m<sup>3</sup> az oxigén befúvatás sebessége percenként és tonnánként. Oxigénnel kevert poralakú égetett meszet szokás befúvatnia folyékony fürdön át az égetett mészt oldódásának elősegítésére és ezzel a salak kialakítására a fúvatás idején.

Folyékony szénhidrogéneket (földgáz, propán, fűtőolaj) a hideg szénhidrogén nem ég el, amikor érintkezésbe lép az oxigén árammal; éppen krakkolódik igen endoterm reakciókkal. A felszabaduló C és H aztán oxidálódik, de jóval távolabb az érzékeny zónától.

#### 6.4.7. Folyamatszabályozó paraméterek, rendszerek és modellek

##### Fő szabályozó paraméterek

- Az oxigén befúvatás vezetése (salak kialakítás a jó foszfortalanításra, kidobódás, kiköpés, vasveszteség stb. elkerülésére),
- A végpont pontos meghatározása (C%,T),
- A berakás, csapolás és a berendezés jó irányítása.

##### Fontosabb mérések

- Kémiai összetétel- és hőmérsékletmérés szublándzsával és/vagy bemeztős hőelemmel,
- füstgáz áramlási sebesség, összetétel és hőmérséklet,
- füstgáz elemzés használható az alábbiak becslésére:
  - a karbon tartalmat a folyamatos dekarbonizáló sebességéből a fúvatás vége felé (az induláskori kumulatív tömegmérleg nem eléggé pontos a bevitt karbon bizonytalan ismerete miatt),
  - a fúvatás bármelyik pillanatában képződött FeO mennyiségét a salakban rögzített oxigén kiszámítása révén nyert kumulatív tömegegyensúly révén.
- hangérzékelő vagy lándzsa rezegtetés a salakhabosodás észlelésére,
- lándzsa-magasság mérése,
- az olvadék magassága és/vagy salak szintérzékelés,
- bevitt és kijövő anyagok pontos mérése
- folyékony és szilárd anyagok (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, érc, égetett mészt),
- elektromágneses salakészlelő szenzor a csapoló nyílásban,
- az elszívó ernyőhűtő hűtővizének áramlási sebessége és hőmérséklete, nyomás az ernyőben,
- a tűzállóbélés kopásának lézeres ellenőrzése.

### **A szokásosan alkalmazott fő modellek**

- átfogó hő és tömegmérlegre alapozott statikus betét modell,
- statisztikus és neurális hálózat modellek kiegészítésként alkalmazva a konverter állapotának és különböző szenzorainak jobb figyelembe vételével,
- dinamikus szabályzó modellek a finom beállítást célzó befűvés-mérések alkalmazásával,
  - füstgáz monitorizálásán alapulva,
  - szublándzsás mintavételre alapozva (szublándzsa modell),
- „Gyors csapolás” modell a végső fémösszetétel (P, Mn) becslésére és a csapolás megkezdése a megerősítő mintaelemzés nélkül.

### **Fenekőblítés nitrogénnel és argonnal**

A kevert fűvátású konverterek fő előnyei:

- a salak csökkent a FeO-tartalma a tűzálló bélés kopás és a vaskihozatal javulásával,
- az olvadékban oldott aktív oxigén tartalom csökkentése a fővetés végén meggyorsult dekarbonizáció révén és a fűvátást követő keverés alatt, ami alumínium-megtakarításra vezet az üstben végzett dezoxidáláskor,
- növekvő Mn tartalom a fémbe a buktatáskor,
- elősegített P és S eltávolítás.

### **6.4.8. Salak/fém reakciók**

#### **A Si eltávolítása**

Ez a reakció igen gyors és a szilícium teljes mennyisége a salakba kerül a fűvátás első harmadában.

#### **A P és a S eltávolítása**

Ezen reakciók a salak kialakításának és a végsalag összetételének igen pontos szabályozását igénylik annak érdekében, hogy szavatoljuk a folyékony acélra célként kitűzött kis értékeket.

A kettő közül a foszfortalanítás sokkal kritikusabb és itt elemezzük. Hogy sikeres és gazdaságos legyen, az acélgyártónak mind a termodinamikai, mind a kinetikai szempontokat figyelembe kell vennie.

### **6.4.9. Salak kialakítás és összetétel**

A salak néhány oxidációs reakcióból ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , FeO és MnO) származó oxidot, beadagolt salakképzőt (CaO, MgO) és tűzállóanyag erodált alkotóit (MgO) tartalmaz.

#### **Salakösszetétel alakulás a fűvátás során:**

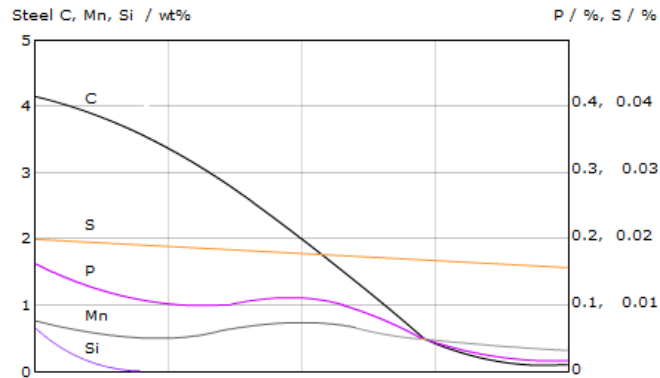
1-2: Savanyú salak alakul ki a Si és Fe (Mn) oxidációjából. Az égetett mész csak igen kis mértékben oldódott fel. A hőmérséklet kicsi és így a foszfor egy része oxidálódott.

2-3: Az égetett mész folyamatosan oldódik a salak CaO-ban való dúsulásával és az FeO tartalom csökkenésével, a hígulás és a teljes dekarbonizáció alatti FeO redukció következtében

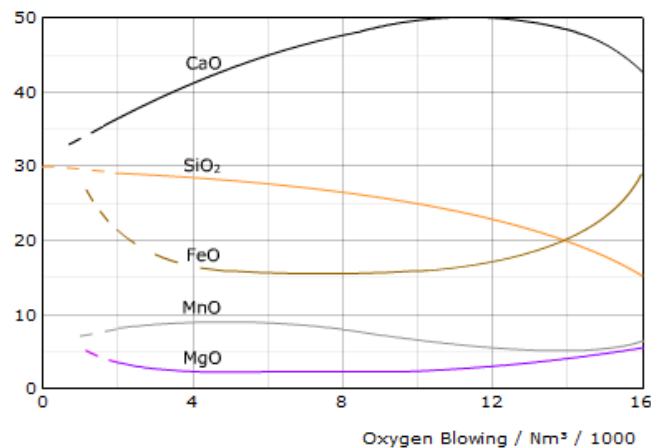
(főleg akkor, ha a lándzsa túl alacsony). A salak heterogén és a foszfor tekintetében nem reakcióképes.

3-4: A salak reakcióképes, megfelelő a végső foszfortalanításhoz.

### Változások a fém összetételében



6.4. ábra A fűdő összetételének változásai a fűvátás alatt



6.5. ábra A salak összetételének változásai a fűvátás alatt

### 6.4.10. Foszfortalanítás a BOP I-ben

A foszfortalanítást a BOS-ben a következő egyenlet uralja:

$$\%P_{\text{acél}} = \%P_E / [1 + L_P \cdot Q_{\text{salak}} / (1 + \Delta P_{\text{egyens}} / \%P_{\text{egyens}})].$$

Ahol:

$$\%P_E = 100 \times (P_{\text{össz, in}} / M_{\text{acél}})$$

$$Q_{\text{salak}} = M_{\text{salak}} / M_{\text{acél}} : \text{fajlagos salakfelhasználás,}$$

$$L_P = \%P_{\text{salak}} / \%P_{\text{egyens}} : \text{egyensúlyi megoszlási arány,}$$

$$\Delta P_{\text{egyens}} = \%P_{\text{acél}} - \%P_{\text{egyens}} : \text{salak/fém egyensúlytalanság.}$$

A foszfortalanítás körülményeinek javítása céljából a következő módon lehet befolyásolni a különböző paramétereket:

## I – Foszfor megoszlási hányados ( $L_P$ ) szerepe

- Az  $L_P$  a gyakorlatban optimális  $3 < L_P < 5$  esetében,
- Ha a kívánt arány  $> 6$ , a salak vastartalmát növelni szükséges (megjegyzendő, hogy ez esetleg további tűzállóbélés kopással jár) annak érdekében, hogy fenntartsuk a folyékony salakot és elkerüljük a kinetika degradálódását ( $\Delta P_{\text{egyens}}$ ),
- Az  $L_P$  nem nő drasztikusan, ha folyósítókat ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) adagolunk.

Következtetés: A bevitt CaO (égetett mész és égetett dolomit) mennyisége minden Si-tartalmú folyékony nyersvasra annyi kell lennie, hogy kimerítse a  $3 < L_P < 5$  követelményt

## II – A salaktömeg ( $Q_{\text{salak}}$ )

Fő következtetések a salaksúly hatékony növelésének (ha szükséges) útjaival kapcsolatban:

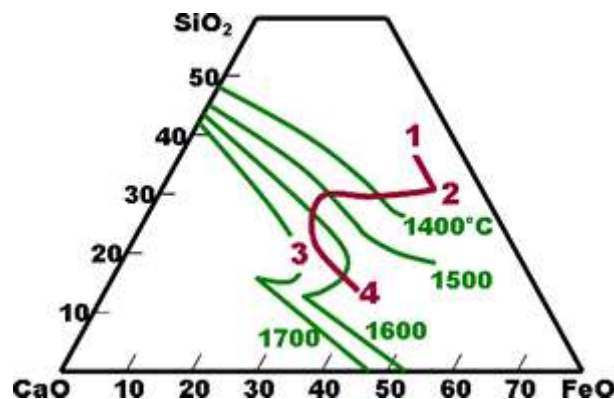
- Ne terhelje túl egyedül égetett mésszel (arány  $< 6!$ ),
- Az égetett mész + folyósítók mennyisége OK lehet, de nincs nagy hatással az  $L_P$ -re,
- Ha igen kicsi a  $\% \text{Si}_{\text{foly.nyv.}}$ , a legjobb intézkedés égetett mész és kvarchomok adagolása.

## III – Nyersvas foszfortartalmának ( $\% P_{\text{foly.nyv.}}$ ) csökkentése

Ez a folyékony nyersvas előkezelésének feladata, egyéb eljárásnak ellentétes hatása lehet a konverter salak reciklálására a zsugorító műbe.

## IV – A foszfortalanítás sebességének ( $\Delta P_{\text{egyens}}$ ) csökkenése

Ez az acélgyártás lényege. A salak kialakulásának diagramja szerint csupán kevés ideig van foszfortalanításra képes, jól kialakított salak:



6.6. ábra Salak összetétel változása a fűtás alatt

- 1- 2 : Savanyú salak,
- 2- 3 : Heterogén, nem reakcióképes salak,
- 3 - 4 : Reakcióképes salak, megfelelő a végső foszfortalanításra.

Számos lehetőség van a megkívánt eredmények elérésére, például:

- az optimális kikészítésre vonatkozó fűtési sorrend alkalmazása.
- ha szükséges, salakképző adagolása, tekintettel a tűzálló béléskopásra, a kampányadagszámra és a termelékenységre kifejtett hatására.

### 6.4.11. Tűzálló anyagok

A tűzállóbélésnek nagy hőmérsékletnek, oxidos salaknak és folyékony fémnek ellen kell állnia.

#### Bélést védő technikák

##### I. Agresszív salak kerülése

- nagy hőmérsékleteken túlzottan nagy FeO-tartalom (az újrafúvatás különösen romboló a tűzálló bélésre) kerülése,
- a salak MgO-val telítésére égetett dolomitot adagolása.

##### II. Védő salakbevonat

A fúvatás végén salakban körülbelül 20% szilárd fázis biztosítása (limitálva az FeO-t a CaO-szilikátok kiválására) és a konverter előre-hátra himbálásával terítse szét a salakot a bélésen, folytatva ezt többször, a salakeltávolítás előtt.

Adagoljon nagymennyiségű MgO-t a salakba röviddel a salakeltávolítás előtt és vigye fel a bélésre az oxigénláncán keresztül befúvatott nitrogén segítségével. Ezzel a salakfröcskölésnek nevezett technikával lehetséges megtartani egyazon bélést 20 000 adagig.

##### III. Helyi javítások

Helyi javítások a legmegviseltebb zónákban tűzálló anyagok felszórásával.

### 6.4.12. Csapolás

Jó csapoló nyílás-karbantartást és salakmentes csapolást biztosító eszközöket (csapolónyílás-záró dugók, például golyók és dárdák, a csapoló nyílás köré elhelyezett elektromágneses salakdetektáló szenzorok) használnak a salak üstbe kerülésének megakadályozására.

### 6.4.13. Füstgáz és füstkezelés

A fúvatás főszakaszában keletkezik a legtöbb füst, ez az alábbiakból áll:

- forró füstgázok. Körülbelül  $80 \text{ Nm}^3$  per tonna acél, 80-95% CO, a többi CO<sub>2</sub> összetétellel. További oxid por is keletkezik körülbelül 12 kg az acél egy tonnájára, amely szintén tartalmaz nehézfém-oxidokat, például Zn-, Pb- és más oxidokat, a felhasznált hulladék-keveréktől függően.
- égetett mész és salak részecskék, körülbelül 4 kg per tonna acél mennyiségben.

Ezekre a füstökre kéttípusú gyűjtőrendszer van:

- Nyitott elszívó ernyő, amely elég levegőt szív be a CO teljes elégetéséhez, mielőtt elérné a szűrőrendszert.
- Zárt vagy visszatartott elégetéses elszívóernyők, amelyek igen kis szintekre (< 15 %) csökkentik vagy kizárják a levegő beszívást. A szűrés után az elszívott gázokat vissza lehet nyerni és az újrahevítő kemencékben felhasználni. Legújabban épült üzemek zárt elszívóernyős rendszereket használnak

A legáltalánosabb szűrő berendezés a Venturi-mosó. A Venturi mosó olyan erőteljes vízpermeten át vezeti a gázt/füstöt, amely megmossa és különválasztja a füstöt a gáztól. Egy sor szeparációs folyamat után az oxid szűrőpogácsákat szárítják és reciklálják.

#### 6.4.14. Salakkezelés

A konvertersalak 60-100 kg per tonna acél mennyiségben keletkezik. Az acél lecsapolása után a salaküstbe (-tálba) öntik a konverter buktatásával és a salaktéren ürítik ki, ahonnan visszanyerhetik.

Jelenleg üzemben belül hasznosítják vissza mintegy felét, vagy a zsugorítóműbe vagy közvetlenül a nagyolvasztóba. Az ily módon visszanyert értékes alkotó a Fe és a CaO. Az ilyen, művön belüli visszaforgatás csökkenőben van a megnövekedett acélminőségi igények, pl. a kisebb foszfor-előírás miatt.

Egyéb alkalmazások, mint például a terepfeltöltés, töltőanyag és mezőgazdasági felhasználások kutatás alatt.

### 6.5. Betétszámítás

#### 6.5.1. Mérlegegyenletek kiválasztása

A folyékony nyersvas és az oxigén közti reakció termékei vagy a salakba (Fe, Si, Mn, P, Cr stb.) vagy a gázfázisba (a C CO- és CO<sub>2</sub>-ként) jutnak. Az elemek megoszlása a folyékony fém, salak és gáz között a befűtatott oxigén mennyiségétől, valamint a fürdő és az oxigén érintkezésének körülményeitől függ. A fűtatás körülményei az alábbiakat befolyásolják:

- A gáz összetételét; az utóégetés arányát:  $PCR = CO_2 / (CO + CO_2)$ , ahol CO és CO<sub>2</sub> térfogathányadok.
- Az Fe oxidáció fokozatát a salakban:  $Fe^{3+} / (Fe^{2+} + Fe^{3+})$ . A felső fűtatásnál ez az arány körülbelül 0,3, ami az  $O_{kapcsolt} : Fe / Fe_{oxidált} = 0,33$  tömegarányának felel meg.

Ezen túlmenően fontos az is, hogy előírjunk egy oxidált Fe-mennyiséget, szokásosan a salak rögzített vastartalma révén. Rozsdaálló acélokra a Cr oxidációját is figyelembe veszik, az oxigén dekarbonizációs aránya segítségével.

Ebben az egyszerűsített rendszerben világos, hogy egy adott összetételű acélra és a már megtárgyalt három paraméter (gázösszetétel, az Fe oxidációs foka és az Fe oxidált mennyisége) rögzítésével, 4 egyenlet szükséges annak érdekében, hogy kiértékeljük az oxigén, a folyékony acél, a salak és a gáz mennyiségét egy adott mennyiségű folyékony nyersvas kezelésének megfelelően (vagy hogy egy adott mennyiségű acélt gyártsunk le). Ezek az egyenletek az Fe, O, gáz és a salakban levő, Fe-on kívüli elemek (Si, Mn és P) mérlegei. Könnyen belátható, hogy ezek az egyenletek függetlenek.

- További korlátozást igényel egy újabb beviteli változó (vagy az előbbi megszorítások egyikének kikapcsolása). Ez a helyzet a jellemző ipari feltételekre:



- Az acél hőmérséklete rögzített. Ez a korlátozás endotermikus /hulladék, érc, stb.) vagy exotermikus (ferroszilícium, szén, stb.) ágensek beadagolását igényli.
- Égetett mész beadagolása a megkívánt salak-tulajdonságok elérésére. Ezt a korlátozást ki lehet fejezni a salak-összetételre (CaO tartalom, vagy CaO/SiO<sub>2</sub> bázicitási arány vagy (CaO+MgO)/(SiO<sub>2</sub>+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)-ra vonatkozó további feltétellel vagy az égetett mész arány rögzítése segítségével.

A salak MgO-tartalmának rögzítése a tűzálló bélés védelme érdekében. Egy mindentől független MgO bevitel szükséges például égetett dolomitmész alakjában.

**6.1 táblázat** A bázikus oxigénes eljárás beviteli és kihozatali anyagai

<b>Bevitel</b>	Folyékony nyersvas	A ( $P_{Fe}$ ) súly rögzített (vagy ismeretlen) és a hőmérséklet rögzített
	Hulladék vagy érc	A ( $P_{Fe}$ vagy $P_M$ ) súly ismeretlen, az összetétel és a hőmérséklet rögzített
	Égetett mész	A ( $P_{Chx}$ ) súly ismeretlen, az összetétel és a hőmérséklet rögzített
	Oxigén	A ( $P_O$ )súly ismeretlen, az összetétel és a hőmérséklet rögzített
<b>Kihozatal</b>	Folyékony acél	A ( $P_A$ ) ismeretlen ( vagy rögzített), az összetétel és a hőmérséklet rögzített
	Salak	A ( $P_L$ ) súly ismeretlen, a hőmérséklet rögzített. A vasoxid és az oxidációs fok rögzített ( $\Rightarrow \%Fe_L$ ), ( $\%O_{Fe}$ ) <sub>L</sub> A teljes összetételt ki lehet számítani az elemek mérlegéből (Si, P, stb.)
	Gáz	A ( $P_G$ )súly ismeretlen. Az átlagos hőmérséklet és az utóégetési arány (PCR) rögzített.

Így egy minimális anyagigényű tipikus betétnek 6 ismeretlene van és 6 mérleg-egyenletet igényel:

- Fe-mérleg,
- oxigénmérleg,
- gázmérleg,
- az Fe-n kívüli egyéb salakalkotó mérlege,
- bázicitás-egyenlet mérleg,
- energiamérleg.

### 6.5.2. A Simplex módszer alapelvei mérleg egyenletek megoldására

Általánosságban a szigorúan szükséges anyagoknál több áll rendelkezésre a betét összeállításakor (különböző minőségű hulladékok, ferroötvözetek, stb.). Az optimális betét kiszámításának gyakorlati módszere a Simplex Algoritmus használata, ami a  $z = f(c, P)$  betétköltség objektív függvényének minimalizálása, egy lineáris egyenlet a különböző anyagok súlyának kifejezésére:

$$z = \sum_j c_j \cdot P_j \quad 10-1$$

Ahol

$P_j =$  A különböző szobajövő anyagok (folyékony nyersvas, hulladékok, salak, gáz),  
 $c_j =$  költség, beleértve a felhasználásukkal kapcsolatos és az esetleges deponálási vagy valorizálási (gáz) költségeket.

A  $P_j$  változók egyéb mérleg-megkötöttségeknek, valamint az anyagok rendelkezésre állásának, elemzési határoknak, stb., mint egyéb lehetséges megkötéseknek vannak alárendelve:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot P_j \{ \leq, =, \geq \} b_i \quad i = 1, \dots, m \quad 10-2$$

Az anyagok rendelkezésre állásával kapcsolatos megkötéseken kívül bizonyos anyagokra maximális vagy minimális súlyokat írhatunk elő (pl. gondoskodás egy minimális érc mennyiség-ről a végső hőmérséklet-beállításhoz), vagy bizonyos anyag-összeállításhoz (például a hulladék-tárolók maximális súly- és térfogat-kapacitása) mennyiségeket írhatunk elő (pl. szilárd nyersvas, belső hulladék). Az analitikai határ-megkötöttségeken túl előírhatunk egy maximális Cu-(vagy más szennyező elem-) tartalmat az acélban, a salakban az MgO-tartalmat a bélés védelme érdekében stb.

A Simplex módszer azon lehetősége, hogy önkényesen határoz meg bizonyos anyag mennyiségeket, azzal az előnnyel jár, hogy a betétszámításhoz (a folyékony acél súlya rögzített és a folyékony nyersvasé és egyéb betétanyagoké ismeretlen) és az adag diagnosztikai számításaihoz egyazon számítási modult használhatunk (a beadagolt anyagok ismertek és az elméleti acélsúlyt az aktuális anyagokkal és a hővesztésekkel együtt kiszámítottuk).

### 6.5.3. Hogyan írjuk fel a mérlegegyenleteket

Az itteni egyenleteket minimális számú anyagot tartalmazó betétre írtuk fel. A nagyobb számú rendelkezésreálló anyagra való transzponálás közvetlen.

#### Fe-mérleg

$$[\%Fe_{Fte} \cdot P_{Fte} + \%Fe_{Fer} \cdot P_{Fer} + \%Fe_M \cdot P_M] = [\%Fe_A \cdot P_A + \%Fe_L \cdot P_L] \quad (6.1)$$

#### Oxigénmérleg

A C, Mn, P, Si elemek oxidálásához felhasznált oxigén mennyiségét ezen elemek  $Q_C$ ,  $Q_{Mn}$ ,  $Q_P$  és  $Q_{Si}$  oxidjainak mennyisége alapján számítottuk ki.

$$Q_C = 0.01 \cdot [\%C_{Fte} \cdot P_{Fte} + \%C_{Fer} \cdot P_{Fer} - \%C_A \cdot P_A] \quad (6.2)$$

(és hasonlóan a Mn-ra, P-ra és Si-ra).

Figyelembe véve a salak összetételéből számított, az Fe oxidálásához felhasznált oxigén mennyiségét és az acélban oldott oxigén mennyiségét, az oxigén mérleg az alábbi:

$$P_O + 0.01 \cdot \%O_M \cdot P_M = \left[ \frac{16}{12} \cdot (1 - PCR) + \frac{32}{12} \cdot PCR \right] \cdot Q_C + \frac{16}{55} \cdot Q_{Mn} + \frac{80}{62} \cdot Q_P + \frac{32}{28} \cdot Q_{Si} + 0.01 \cdot (\%O_{Fe})_M \cdot P_L + 0.01 \cdot \%O_A \cdot P_A \quad (6.3)$$

## Gázmérleg

$$P_G = \left[ \frac{28}{12} \cdot (1 - TCS) + \frac{44}{12} \cdot (TCS) \right] \cdot Q_C \quad (6.4)$$

Amennyiben keverő gázt (Ar, N<sub>2</sub>, stb.) használunk, P<sub>Ar</sub>, P<sub>N<sub>2</sub>, stb-k</sub> hozzáadása szükséges.

## A vason kívüli salakalkotók mérlege

$$\begin{aligned} \frac{71}{55} \cdot Q_{Mn} + \frac{142}{62} \cdot Q_P + \frac{60}{28} \cdot Q_{Si} + 0.01 \cdot \%CaO_{Chx} \cdot P_{Chx} \\ = 0.01 \cdot [100 - \%Fe_L - (\%O_{Fe})_L] \cdot P_L \end{aligned} \quad (6.5)$$

## Bázicitás egyenlet

Amennyiben például a  $v = \%CaO/\%SiO_2$  bázicitást figyelembe vesszük:

$$0.01 \cdot \%CaO_{Chx} \cdot P_{Chx} = v \cdot \frac{60}{28} \cdot Q_{Si} \quad (6.6)$$

## Energiamérleg

### 1. lépés

A beadagolt anyagokat kezdeti állapotukból ezen elemek 1600°C hőmérsékletű folyékony fémekben oldott állapotára hozzuk (kivéve az égetett meszet, amelyet csak egyszerűen felhevítünk)

$$\begin{aligned} \Delta H_1 = & 0,00087(1600 - T_{Fte})P_{Fte} && \text{(folyékony fém hevítése)} \\ & + 1,35P_{Fer} + 4,43 P_M && \text{(a hulladék és az érc hevítése és oldódása)} \\ & + 1,5 P_{Chx} && \text{(az égetett mész hevítése)} \\ & - 5,62 P_O && \text{(az oxigén hevítése és oldódása)} \end{aligned}$$

### 2. lépés

Az oldott elemek közti reakciók entalpiája 1600°C-on.

$$\begin{aligned} \Delta H_2 = & [-3.37 \cdot (1 - PCR) - 16.79 \cdot PCR] \cdot Q_C \\ & - 5.34 \cdot Q_{Mn} - 23.8 \cdot Q_P - 24.4 \cdot Q_{Si} - 0.0296 \cdot \%Fe_L \cdot P_L \end{aligned} \quad (6.7)$$

### 3. lépés

Az acélt, salakot és gázt végső hőmérsékleteire hozzuk.

$$\Delta H_3 = 0,00082(T_A - 1600)P_A + 0,00204(T_L - 1600)P_L + [\{ 0,00128(T_G - 1600) \} (1 - PCR) + \{ 0,00136(T_G - 1600) \} PCR] Q_C$$

A következő megfelelő tagokat add hozzá, amennyiben argont/vagy nitrogént alkalmaztál keverőgázként:

$$+ \{ 0,82 + 0,00053(T_G - 1600) \} P_{Ar} + \{ 1,84 + 0,00128(T_G - 16010) \} P_{N_2}$$

## 6.2. táblázat A hő-és tömegmérleg kiinduló értékei

<b>Foly. nyersvas összetétele</b>	4,5 %C, 0,5 %Mn,0,08 %P, 0,4 %Si,(azaz 94,52 %Fe) 1350 °C- on
<b>Hulladék összetétele</b>	100 %Fe.- Érc nincs
<b>Égetett mész</b>	100 %CaO
<b>Folyékony acél összetétele</b>	0,05 %C, 0,12 %Mn, 0,01 %P,(azaz 99,73 %Fe) 1650°C-on
<b>Salak</b>	%CaO/%SiO <sub>2</sub> =4, oxidált Fe tartalom 18% 1650°C-on
<b>Gáz</b>	PCR=0,08 kiszívva átlagosan 1500°C hőmérsékleten
<b>Hővesztések</b>	65 MJ/t acél

### Számszerű alkalmazás

Az 1 tonna acélra vonatkozó adagszámítás első lépése a C, Mn, P és Si oxidálódott mennyiségeinek kiszámítása:

$$Q_C = 0,045 P_{Fe} - 0,5$$

$$Q_{Mn} = 0,005 P_{Fe} - 1,2$$

$$Q_P = 0,0008 P_{Fe} - 0,1$$

$$Q_{Si} = 0,004 P_{Fe}$$

Ezután mind a 6 adag hő-és tömegmérleget kiszámítjuk a 10-3 táblázatnak megfelelően:

### 6.3. táblázat Hő-és tömegmérleg-záró egyenletek

<b>Fe mérleg</b>	$0,9452 \cdot P_{Fe} + P_{Fer} - 0,18 \cdot P_L = 997,30$
<b>O mérleg</b>	$0,0718 \cdot P_{Fe} + P_O + 0,0544 \cdot P_L = 1,098$
<b>Gázmérleg</b>	$0,1098 P_{Fe} - P_G = 1,22$
<b>Fe-n kívüli salakalkotók mérlege</b>	$0,0169 \cdot P_{Fe} + P_{Chx} - 0,7606 \cdot P_L = 1,778$
<b>Salakbázicitás</b>	$0,0343 \cdot P_{Fe} - P_{Chx} = 0$
<b>Energiamérleg</b>	$- 0,1287 \cdot P_{Fe} + 1,35 \cdot P_{Fer} + 1,5 \cdot P_{Chx} - 5,62 \cdot P_O - 0,3462 \cdot P_L = -117,2$

Végül a tömegeket számítjuk ki:

$$P_{Fe} = 885,3 \text{ kg}$$

$$P_{Fer} = 171,6 \text{ kg}$$

$$P_{Chx} = 30,4 \text{ kg}$$

$$P_O = 65,6 \text{ kg}$$

$$P_A = 1000 \text{ kg}$$

$$P_L = 57,2 \text{ kg}$$

$$P_G = 96,0 \text{ kg}$$

### 6.6. A szimulációs program bemutatása

A steeluniversity.org oldalon (7.1. ábra) lehetőség van az oxigén konverteres adaggyártás modellezésére egy Flash program segítségével.

A szimulációban a mű metallurgusának szerepébe lehet bújni, akire van rábízta a konverteres acélgártás műveletét. Döntéseket kell hozni a hulladékról és adalék anyagokról és a konver-

terbe adagolandó folyékony nyersvas mennyiségéről annak érdekében, hogy a megválasztott acél előírt összetételét érje el és a megkívánt időben és hőmérséklet határok között csapolja le. További cél a művelet költségének minimalizálása.

A program *Steel Processing* részének *Basic Oxygen Steelmaking* modulján belül a 26-os fejezet (*BOS Simulation*) (6.7. ábra) tartalmazza a szimulációs program elérhetőségét. A Flash program a konverter testet bemutató ábrára kattintva indítható el.



6.7. ábra steeluniversity.org nyitóoldala



6.8. ábra Oxigén konverter acélgyártás, szimulációs nyitóoldala

### 6.6.1. A szimuláció működtetése

A kitűzött feladat egy 250 tonnás adag legyártása a választott szintnek és minőségnek megfelelő előírások szerint.

Az új képernyőn megnyíló program (6.9a. ábra) több szintet (6.9b. ábra) is felkínál a felhasználó számára az alábbiak szerint.

– *University student* (egyetemi hallgató) szint

Ezen a szinten elvárás, hogy a feladatot tudományosan közelítse meg a felhasználó, a releváns termodinamikai és kinetikai elméletek felhasználásával annak érdekében, hogy döntéseket hozzon a különböző műveleti lehetőségekkel kapcsolatban. Így például a felhasználónak el kell végeznie előzetesen egy hő- és tömegmérleg-számítást, hogy meghatározza a hulladék és a salak adalékok mennyiségét és a szükséges összes oxigén szükségletet.

Ezen a szinten láthatóvá válnak a meg nem olvadt szilárd anyagok, pl. a hulladék.

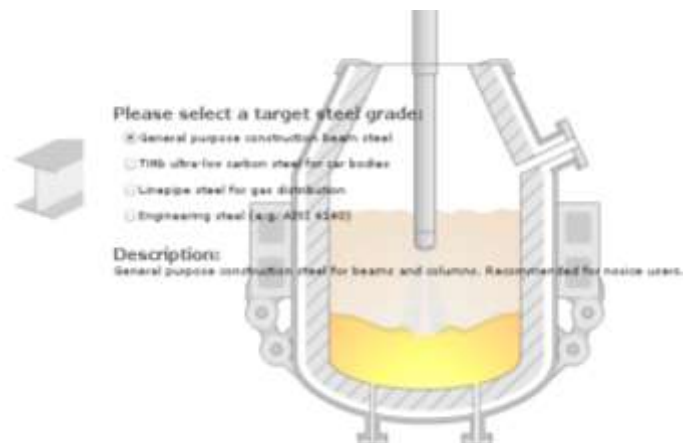
– *Steel Industry Works Technical* (üzemi technikus) szint

Ezen a szinten is elvárják a felhasználótól a feladat tudományos megközelítését. A használatkor korlátozott számú feladatot kell végrehajtania a szimulációban. Például a meg nem olvadt szilárd anyag nem válik láthatóvá ezen a szinten.



6.9a-b. ábra Nyitóoldal, lehetséges profilok kiválasztása

A szint meghatározása után anyagminőséget (*Target steel grade*) kell választani (6.10. ábra). A kiválasztott acélminőség összetételét a 6.4. táblázat, a minőségre vonatkozó előírt csapolási hőmérsékletét a 6.5. táblázat foglalja össze.



6.10. ábra A gyártandó acélminőség kiválasztása

6.4. táblázat Maximális összetételi koncentrációk (%) a szimulációban választható acélminőségekre

Elem	CON	ULC	LPS	ENG
C	0,16	0,01	0,08	0,45
Si	0,25	0,25	0,23	0,40
Mn	1,5	0,85	1,1	0,90
P	0,025	0,075	0,008	0,035
S	0,10	0,05	0,01	0,08
Cr	0,10	0,05	0,06	1,2
B	0,0005	0,005	0,005	0,005
Cu	0,15	0,08	0,06	0,35
Ni	0,15	0,08	0,05	0,30
Nb	0,05	0,03	0,018	0
Ti	0,01	0,035	0,01	0
V	0,01	0	0,01	0,01
Mo	0,04	0,01	0,01	0,30
Ca	0	0	0,005	0

6.5. táblázat A választható acélminőségekre vonatkozó előírt csapolási hőmérsékletek

	Minimum [°C]	Maximum [°C]
CON	1630	1660
ULC	1665	1695
LPS	1655	1685
ENG	1655	1685

### 6.6.2. A gyártható acélfajták jellemzése

- Az általános rendeltetésű **szerkezetiacél (CON)** viszonylag igénytelen minőség, amely minimális kezelést igényel, ezért **kezdő felhasználónak** ajánlott. Fő feladat annak biztosítása, hogy a karbon 0,1 és 0,16% között essen.
- A **TiNb igen kis karbontartalmú acél (ULC)**, gépkocsi karosszéria-elemek gyártására, 0,01 %-nál kisebb karbon-előírással, az alakíthatóságot optimalizálása céljából. Fő prioritás az előírt hőmérséklet elérése a fúvatás végén annak érdekében, hogy a maximum alatt tartsa a hőmérsékletet, miközben eléri az előírt alacsony karbon értéket.
- A **vezetékcső acél (LPS)** főleg kőolaj és a földgáz szállítására szolgál. **Igen igényes** acélminőség. Az előírt nagy szilárdság és szívósság rendkívül alacsony szennyező- (S, P, H, O és N), valamint zárványszint elérését igényli. Csak a nagyobb tapasztalatú felhasználónak ajánlott ezzel a acéltípussal foglalkozni.
- A **gépészeti acél (ENG)** hőkezelhető gyengén ötvözött acél közepes karbon tartalommal. Nagyon fontos az előírt hőmérséklet betartása mellett a 0,30 és 0,45 %C közti karbon-tartalom beállítása.

### 6.6.3. Betét összeállítása

A minőség kiválasztása után a betétösszeállítás következik (*Raw materials*) (6.11. ábra). A 250 tonnás csapolási tömegre vonatkozó számításnál az előírt csapolási összetétel és hőmérséklet függvényében (6.1-2. táblázat). Figyelembe kell venni az alkotók oxidáció miatti tömegsökkenését is.

You have chosen a target steel grade, now please select raw materials accordingly

1. Select raw material mixture:

Raw Material	Unit cost	Mass	Cost
Hot metal	\$125.00/t	200 t	\$25000
Light Scrap	\$0.15/kg	0 kg	\$0
Heavy Scrap	\$0.15/kg	0 kg	\$0
Iron Ore	\$0.09/kg	0 kg	\$0
Lime	\$0.05/kg	0 kg	\$0
Dolomite	\$0.09/kg	0 kg	\$0
<b>Totals</b>		<b>200 t</b>	<b>\$25000</b>

Cost per metric tonne: \$125/t

Target steel grade:

Element	RawMat	Min	Max
C*	4.950	0.1	0.14
Si*	0.400	0	0.28
Mn*	0.500	0	1.5
P	0.020	0	0.025
S*	0.020	0	0.1
Cr	0	0	0.1
Mo	0	0	0.04
Ni	0	0	0.15
Cu	0	0	0.15
Al*	0	0	0
Nb	0	0	0.05
Ti	0	0	0.01

2. Select hot metal temperature:

1200 °C

S.S. cost of hot metal is at room temperature.

3. Select bottom stirring gas flow rate (N2):

0.1 Nm<sup>3</sup>/min/tonne

S.S. cost of nitrogen gas is \$0.07/MWh.

6.11. ábra Betétösszeállítás

Az oxigén konverteres eljárásnál, a nyersvassal és acélhulladékkal bevitt elemek (C, Si, Mn, P stb.), oxigénnel lejátszódó exotermás reakciói biztosítják az acélgyártás hőszükségletét.

Mivel az oxigén konverteres acélgyártásnál nincs utólagos hőbevitelre lehetőség, így szükség van egy előzetes anyag- és hőmérleg elvégzésére, ami során figyelembe kell venni a betét összeállításakor a hőbeveleteket:

- a folyékony nyersvas fizikai hőjét,
- a folyékony nyersvas kémiai hőtartalmát (egyres elemek oxidációjakor képződő hőmennyiséget),

és hőkiadásokat:

- a szilárd alkotók (acélhulladék, égetett més, folypát) környezeti hőmérsékletéről (~20 °C) történő felmelegítéséhez és megolvastásához szükséges hőmennyiséget.

Természetesen további hőkiadások a füstgáz és hűtővíz által elvitt hőmennyiség biztosítása is, de ebben a feladatban ezek nincsenek figyelembe véve.

A folyékony nyersvas tömege min. 200 tonna, ehhez lehet vásárolni:

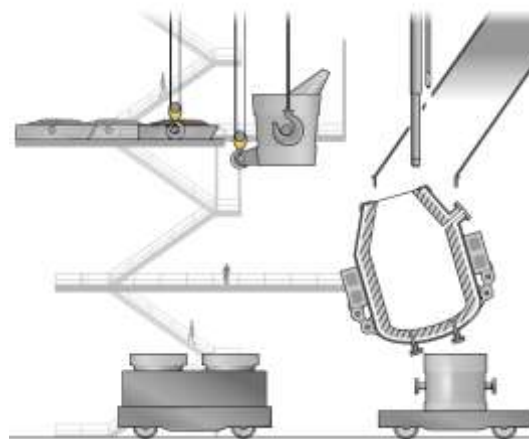
- további nyersvasat,
- az acélhulladékot (két típusa van: könnyű és nehéz hulladék),
- vasércet,
- salakképzőként égetett meszet és dolomitot.

A jobb oldali táblázatban megfigyelhető komponensek kiválasztása után a betét összetételének változása összevetve a gyártandó acélminőség előírásával.

A nyersvas hőmérséklete 1300-1400 °C között állítható be, az alsó öblítéskor használt nitrogén intenzitása 0-0,15 Nm<sup>3</sup>/perc/tonna betét között változhat.

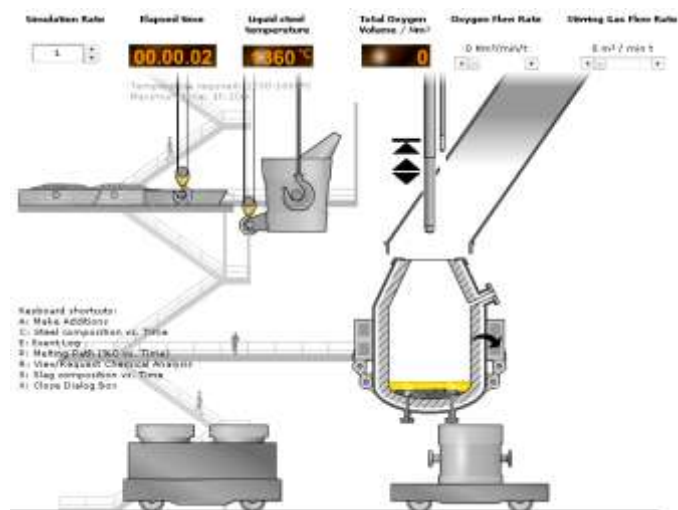
#### 6.6.4. Adaggyártás

A betét összeállítását követően automatikusan megtörténik az adagolás (6.12. ábra). Először a szilárd összetevők (hulladék, vasérc, salakképzők), majd a nyersvas beöntés történik.



6.12. ábra Adagolás

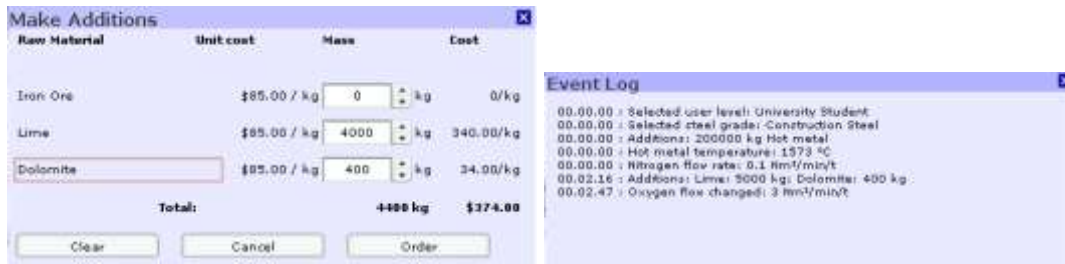




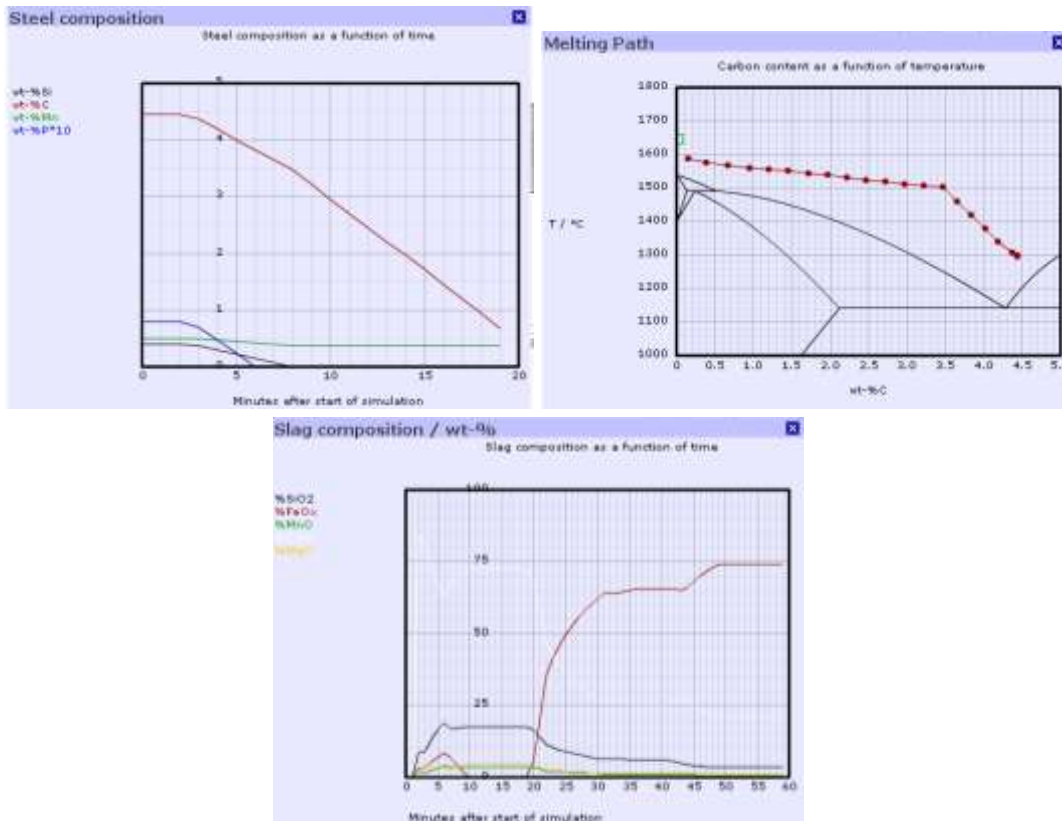
**6.13. ábra** Acélgyártási folyamat összefoglaló képe

Az adagolás után megindul az acélgyártás folyamata (6.13. ábra), a fúvatás megkezdhető. Fontos tudnivalók:

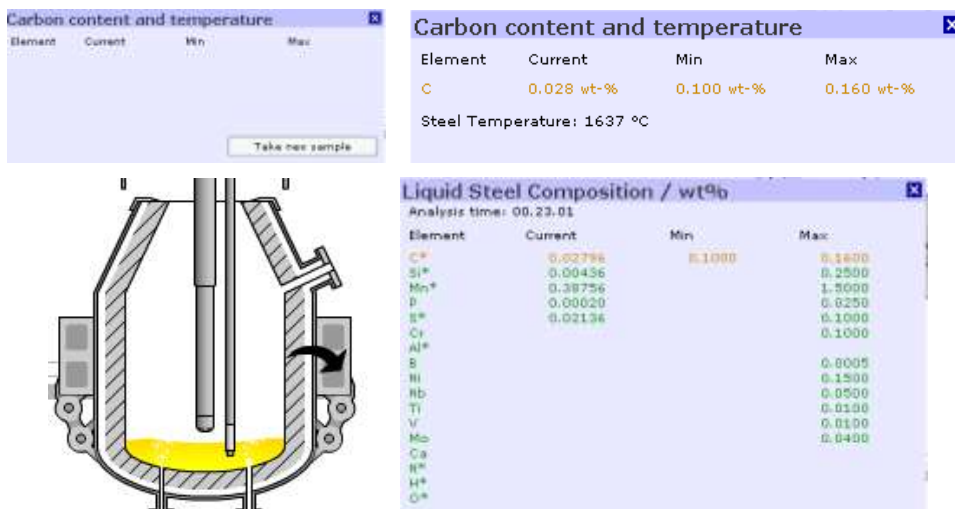
- a szimuláció sebessége szabályozható 1-32-szeres sebesség között,
- megjelenik előírt a csapolási hőmérséklet
- a beállított hőmérséklet csapolás megkezdése után is mérséklődik, azaz túlhevítés szükséges,
- megszabott az adaggyártás maximális hossza,
- az oxigén befúvás intenzitása 0-3 Nm<sup>3</sup>/perc/tonna között változtatható,
- a nitrogénes alsó öblítés a fúvatással automatikusan indul, de csak a szilárd részek beolvadása után indítható fúvatás nélkül,
- a lándzsa mozgatása le- és felfelé irányba történhet lépésben, felfelé irányban pedig gyors kiemeléssel,
- az „**A**” billentyűvel történhet gyártás közben további adagolás (vasérc hűtés, égetett mész és dolomit salakképzés céljából) (6.14a. ábra),
- az „**E**” billentyűvel előhívható az eseménynapló (6.14b. ábra),
- az „**C**” billentyűvel előhívható az acél összetételének „számított” változása (6.15a. ábra),
- az „**P**” billentyűvel előhívható az összetétel változása a vas-karbon diagramon, az adott hőmérséklethez tartozó likvidusz hőmérséklet meghatározásához (6.15b. ábra),
- az „**S**” billentyűvel előhívható a salak összetételének „számított” változása (6.15c. ábra),
- az „**R**” billentyűvel vehető ki a minta (először szublándzsával gyors karbonösszetétel, majd megérkezik néhány perc múlva a teljes elemzés), illetve előhívható a legutóbbi minta összetétele (6.16. ábra),
- az „**X**” billentyűvel bezárható az aktuális ablak,
- a lándzsa pozíciójának szabályozásával lehet a salakot (ún. lágyfúvatás – távolról), vagy az acélt fúvatással hevíteni (ún. keményfúvatás – közelről) (6.17. ábra),
- amennyiben túlzottan közel van a lándzsa a fürdőhöz (pl. beleér), akkor túlhevülhet a vízűtéses lándzsa (6.18. ábra), ami a kilyukadásával jár,
- amennyiben elhárítható problémát érzékel a program lelassul 1x-es sebességre.



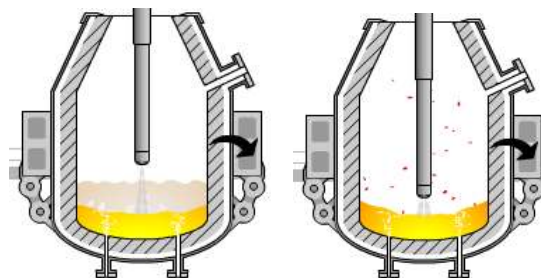
6.14. ábra További adagolás, eseménynapló



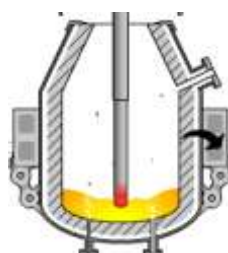
6.15a-c. ábra Az acél összetétel változásának számított diagramja, összetétel változása vas-karbon diagramon ábrázolva, salakösszetétel-változás számított diagramja



**6.16. ábra** Mintavétel megkérése, gyorsminta eredménye, mintavétel szublándzsával, teljes összetétel



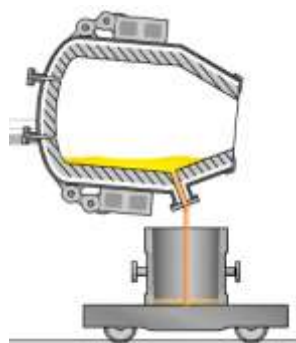
**6.17. ábra** Lágy- és keményfúvatás



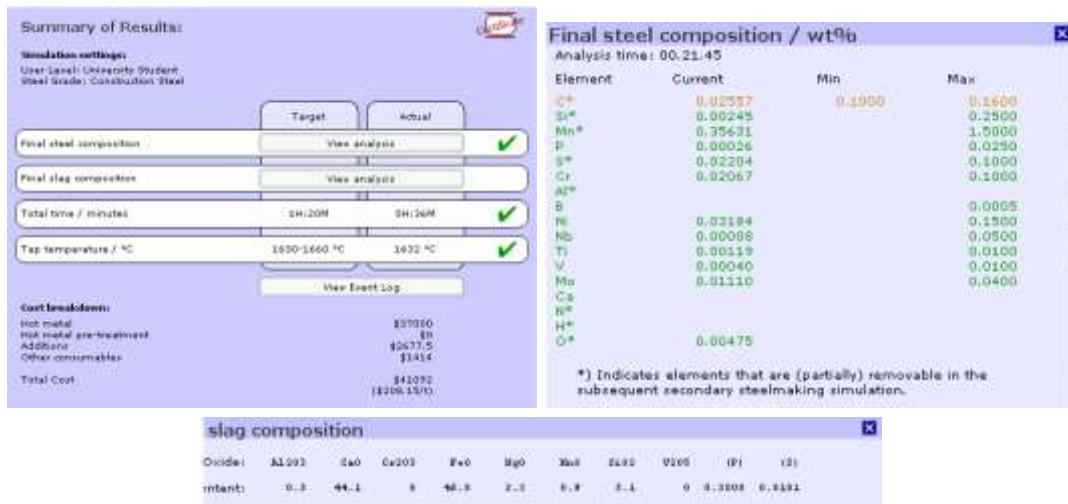
**6.18. ábra** A láncza túlhevülése

Amennyiben az előírtaknak megfelel az acél összetétele és hőmérséklete megkezdődhet a csapolás, ami a konvertertest jobb oldalán lévő nyílra kattintva indítható (6.19. ábra). A csapolás végeztével megjelenik az értékelő ablak (6.20a-c. ábra), ahol a program kiértékeli az acélgyártás műveleteit:

- gyártás minőségét (6.20a. ábra)
- a lecsapolt acél összetételét (6.20b. ábra),
- a salak összetételét (6.20c. ábra),
- a gyártás időtartamát (összevetve az előírttal),
- a csapolt acél hőmérsékletét (összehasonlítva a megszabottal),
- a költségeket.



**6.19. ábra** Az acél csapolása



6.20a-c. ábra A gyártás minősítése, a lecsapolt acél és salak végösszetétele

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1.1] Simon S-Csabalik Gy: Acélgyártás I. Tankönyvkiadó. 1961
- [1.2] Központi Kohászati Múzeum. Felsőhámor
- [1.3] Agricola, G: De re metallica (Gedenkausgabe) Berlin, 1961
- [1.4] Stahlfibel. Düsseldorf, 1980
- [1.5] Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből I. Miskolc, 1982
- [1.6] Dunaferr – Somogyország Archeometallurgiai Alapítvány Kiadványa, 1996
- [1.7] Osann, B: Lehrbuch der Eisenhüttenkunde. Leipzig, 1921
- [1.8] Károly Gy: Az acélméltallurgia alapjai, Miskolc, 2012.
- [2.1] Trenkler, H.: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte BHM, 121 (1976), 334-340
- [2.2] Michaelis, E.M.: Basic Oxygen Steelmaking - A New Technology Emerges Proc.Conf.London, May 1978, The Metals Society, 1979, 1-10
- [2.3] Durrer, R., Hellbrügge, H. & Richter-Brohm, H.: Die Entstehung des "LD"- Sauerstoffaufblas-Verfahrens, Stahl und Eisen 85 (1965), Nr. 26, 1751-1754
- [2.4] Trenkler H.: 20 Jahre LD-Verfahren, Stahl und Eisen 92 (1972), Nr. 15, 709-716
- [2.5] v.Bogdandy, L. & Krieger, W.: Entwicklungen, Ergebnisse und Zukunftsaspekte der Sauerstoffblasstahlerzeugung, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte BHM, 132, Heft 11(1987), 483-493
- [2.6] Michaelis, E.: Geschichtliche Entwicklung und weltweite Einführung des LD Verfahrens, Berg und Hüttenmännische Monatshefte BHM, 137 (1992), 161-169
- [2.7] Fritz, E., Gebert, W. & Ramaseder, N.: Converter Steelmaking with Emphasis on LD Technology, Berg- und Hüttenmännische Monatshefte BHM, 147 (2002), 127-135
- [2.8] Stone, J.K.: The origin of modern oxygen steelmaking, Steel Times 9/2000, 328-330
- [2.9] Presslinger, H.: 50 Jahre LD-Verfahren - ein Blick in die 40er- und 50er-Jahre, Stahl und Eisen, 137 (2003), 103-104
- [2.10] W.Krieger: 50 Years LD Steelmaking - 50 Years of Innovation, 4<sup>th</sup> European Oxygen Steelmaking Conference, Linz. 12-15.May 2003.
- [2.11] H.Hiebler, R.Schneider: Stahlerzeugung. Leoben, 1995
- [2.12] SMS DEMAG - cég prospektusa
- [2.13] Szélig Á: LD acélgyártás technológiai kérdései a Dunaferr Zrt-ben. Előadásanyag. 2009
- [2.14] VESUVIUS cég prospektusa
- [2.15] PREMIER Refractories cég prospektusa
- [2.16] BOF Dynamic Control by Utilizing Sub-lance. Nippon-Steel előadásanyag 1986
- [3.1] U.Kalla, H.W.Kreutzer, E.Reichenstein: Stahl u.Eisen, 1977.p.382-393
- [3.2] MSZ 2592 sz.Magyar Szabvány. 2003.okt.
- [3.3]
- [3.4] INFERNO: Training Course Steelmaking, Ore based steelmaking, Stockholm 1997. (2)
- [3.5] Károly Gy: INNOFERCO-tanulmány, 1993.
- [3.6] Károly Gy: Mérnöktovábbképző-tanfolyam, 2011.Dunaferr.
- [3.7] VOEST-ALPINE: Process automation using a sub lance, Prospektus, 2000.