

A vertikumi kénviszonyok vizsgálata a kumulált kénkihozatal elvének alkalmazásával

Investigation of vertical sulphur relations using the cumulative sulphur yield principle

HÁRI LÁSZLÓ
okleveles kohómérnök



A klasszikus nyersvasgyártás – konverteres acélgártás metallurgiai vertikum több lépcsőből álló komplex acélgártó egység. A komplexum öt gyártó és egyúttal öt kéntelenítő egységből áll, amelyekben a kéntartalom az eltérő metallurgiai adottságoknak megfelelően különböző mértékű, egyedi kéntelenítési lépcsőkön keresztül kerül az űstmetallurgiai fázisig, és végül kialakul az acél végső kéntartalma. Az összevont kénkihozatalok elve lehetővé teszi a vertikumi folyamatok, a félkész és végtermékek kéntartalmának gyors vizsgálatát és a hatékony kéntelenítési súlypontok megadását.

Kulcsszavak: kénviszonyok, kumulált kén, gyors vizsgálat, hatékonyság

The classic pig iron production – converter steelmaking metallurgical vertical is a complex steel production unit consisting of several stages. The complex at ISD Dunafer Zrt. company consists of five production and five desulphurisation units where the sulphur content is passed through different individual desulphurisation steps according to the different metallurgical conditions up to the ladle metallurgical stage where the final sulphur content of the steel is formed.

The principle of combined desulphurisation yields allows the rapid determination of the sulphur content of the vertical sub-products and the final product. It also helps in the selection of efficient desulphurisation centres.

The two main indicators used to characterise the desulphurisation efficiency are desulphurisation efficiency (η) and sulphur yield (k). The desulphurisation efficiency is commonly characterised by the ratio of the amount of sulphur removed to the initial sulphur content, according to the following formula:

$$\eta = \frac{S_0 - S_v}{S_0} \cdot 100. \quad (1)$$

The sulphur yield as the complement of the desulphurisation efficiency is interpreted as

$$\eta + k = 100. \quad (2)$$

The sulphur yield is an indicator of the proportion of the sulphur content in the charge that remains after desulphurisation. The specific sulphur yields of coking, iron ore sintering, pig iron production, LD steelmaking and ladle metallurgy are generally well known as follows.

Technology	Coking	Iron ore sintering	Ironmaking	LD steelmaking	Ladle metallurgy
Sulphur yield	0.64	0.50	0.05	0.60	0.85

The specific charge weights and sulphur content of the finished product are one of the determining factors for the final sulphur content of the finished product. The sulphur input of the metallurgical vertical system is about 4 kg/t of brame. In the absence of desulphurisation, this value would correspond to a sulphur content of 0.40% in steel. It has been calculated that about 90% of the revenue is taken up with sulphur in coking coal.

The cumulative sulphur yield for each charge can be determined by the expression $k = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i$. In this way, only $k = 0.64 \cdot 0.05 \cdot 0.60 \cdot 0.85 = 0.016$ th of the sulphur input from coking coal is transferred to the steel, and e.g. $k = 0.60 \cdot 0.85 = 0.51$ th of the sulphur input from steel scrap. It can be determined that the sulphur yield at the vertical level is $k = 0.025$, giving a desulphurisation efficiency of 97.5%. Other calculations indicate that 57% of the S content of steel comes from coal.

The use of the principle of cumulative sulphur yields helps to determine desulphurisation centres of gravity and the sulphur content of steel more accurately.

Keywords: sulphur relations, cumulative sulphur, rapid determination, efficiency

1. Bevezetés

A kén sokoldalú és káros szerepe már évszázadok óta ismert a vaskohászatban. A kén káros hatásai elleni küzdelem a közbenső és a késztermékek kén tartalmának csökkentésével kezdődött, elsősorban a termékközeli technológiáknál. Ebben élen járt az acélglyártás, melynek eredményei és szerteágazó megállapításai a nyersvasak kén telenítésére is számottevő hatást gyakoroltak. A két technológia kén telenítési eredményeiből és megállapításaiból fejlődött ki még a múlt század közepén a kohón kívüli kén telenítés és a századforduló előtti években az üstmetallurgia. A fejlesztésekkel párhuzamosan folyó, kohón kívüli kezelése kibővültek a nyersvas deszilicizációs és foszfortalanítási műveleteivel, melyek a kén telenítéssel együtt a nyersvas előkezelése néven szerepelnek és fejlődnek tovább [1, 2].

Az acéltermékekkel szemben támasztott követelmények egyre szigorúbbakká válnak. A kereskedelmi és a csúcstechnológiai körbe tartozó termékek kén tartalma jelentős szigorodáson ment keresztül az utóbbi évtizedekben. Az adatokból látszik, hogy a kén tartalom folyamatosan csökken, napjainkban a tömegacéloknaál 0,010% körül van, néhány csúcstermékben pedig már 0,002%-hoz közelít. Az utolsó években létesített üstmetallurgiai kezelőegységek használatával – egyedi esetekben – lehetővé vált a 0,002%-os kén tartalom elérése, és tartósan elérhetővé vált a <0,005%-os kén tartalom biztosítása is. A fenti adatok alapján a hazai acélglyártás lépést tudott tartani a nemzetközi átlagos színvonalal.

Az utóbbi évtizedek minőségi követelményeiben beállt növekedés kihívást jelent a magyar vaskohászat számára, melynek értelmében kérdéses lehet, hogy a jelenlegi gyártóberendezéseinkkel meg tudunk-e felelni a nemzetközileg elvárt átlagos és a speciálisan alacsony kén tartalom biztosításával szembeni követelményeknek.

A szerző a továbbiakban a hazai kohászatban egyedülálló ISD Dunaferri Zrt. egyedi termelőberendezéseivel elérhető kén telenítési hatásfokokat, illetve kén kihozatalokat vizsgálja, melyek révén a végső kén tartalom kialakul.

2. A vizsgálat célja

Mint közismert, a Dunaferri a koksizáló – nagyolvasztó – konverter gyártási útvonalon gyártja acéljait. A fenti gyártóberendezésekhez még csatlakozó vasércszugorító és üstmetallurgiai egyedi gyártóberendezé-

sekben váltakozó mértékű kén telenítés megy végbe. A kén telenítés ezek némelyikében – mint pl. a koksizálás során – spontán jellegű, nem irányított, más termelőegységekben viszont, bizonyos vezérparaméterekkel – mint pl. a bázikusság szabályozásával – több-kevesebb kén telenítést lehet elérni. Az 1. táblázatban áttekintjük a vállalat termelőegységeit, és megadjuk az ezekre jellemző átlagos kén telenítési jellemzőket is.

A kén telenítés eredményességének jellemzésére használatos két fő mutató a kén telenítés hatásfoka (η) és a kén kihozatal (k).

A kén telenítés hatásfokát közismert módon az el-távolított kén mennyiségnek a kezdeti kén tartalomhoz való viszonyával jellemezzük az alábbi képlet alapján:

$$\eta = \frac{S_0 - S_v}{S_0} \cdot 100, \quad (1)$$

ahol S_0 és S_v az acél vagy betétanyag kezdeti és vég-ső kén tartalma, általában m/m%-ban. A kén kihozatalat mint a kén telenítési hatásfok komplementerét értelmezzük az

$$\eta + k = 100 \quad (2)$$

képlet szerint. A kén kihozatal az a mutató, amely megadja, hogy a betétben vagy az acélban levő kén tartalomnak hányad része marad vissza kén telenítés után. Természetesen mindkét mutató értéke megadható %-ban és hányadokban kifejezve is.

Az egyes berendezések egyedi kén kihozatalai megfelelnek a nemzetközi értékeknek. A szembeötlő üstmetallurgiai kén kihozatal előnytelen értékének magyarázata az ún. „passzív üstmetallurgia”, melynek fő jellemzője a hőközlés hiánya, valamint az azzal járó nagymértékű hűlés, a hideg salak és a rövid kezelési idő.

A kén kihozatal fogalma általában közismert, ennek ellenére ritkán használatos mutató. Ezt most a koksizálási kén kihozatal kiszámításán keresztül vizsgáljuk meg. Köztudott, hogy az $S_z = 100$ kg, $S_{S_z} = 0,70\%$ S-tartalmú száraz szénből hozzávetőleg $K = 72$ kg, $S_k = 0,62\%$ S-tartalmú száraz koks képződik, a kén tartalom S_m maradék része pedig az egyéb melléktermékekben gyűlik fel. Ez utóbbival a továbbiakban nem foglalkozunk, mivel nem érintik az acél tisztaságát. A koksizálásra jellemző kén kihozatal értékét a kén telenítési folyamatra felírt elemi kén mérlegről vezetjük le:

$$S_z \cdot S_{S_z} = K \cdot S_k + S_m. \quad (3)$$

1. táblázat. A Dunaferri egyedi termelőberendezéseire jellemző átlagos kén kihozatalok

Technológia	Koksizálás	Vasércszugorítás	Nyersvasgyártás	LD acélglyártás	Üstmetallurgia
Kén kihozatal	0,64	0,50	0,05	0,60	0,85

Képezzük a koksza átment kén tömegének és a kiinduló szénben levő kén tömegének arányát és nevezzük ezt a mutatót a kokszolás kénkihozatalának (k_S^k)!

$$k_S^k = \frac{K \cdot S_k}{S_z \cdot S_{S_z}} = \frac{72 \cdot 0,63}{100 \cdot 0,71} \approx 0,64. \quad (4)$$

Az adott értékekkel a kokszolói kénkihozatal 64% és a kéntelenítési hatásfok értelemszerűen 36%. A fenti értelmezéssel valamennyi termelőegység kénkihozatala meghatározható. Adott esetben a kihozatal számításába be kell számítani a gázfázisba kerülő részt is.

Az egyedi termelőberendezések kéntelenítési munkáját jellegükben igen eltérő reakciók biztosítják. Közös jellemzőjük, hogy az alapanyagból eltávozó kén nem kizárólag a főtermékben marad, hanem az a melléktermékekbe is bekerül. A szén kéntartamának közel harmada közvetlenül a gázokba és a kátrányba kerül. A vasércék zsugorításánál a szulfidkén, a zsugorítmány bázikusságától függően, mintegy 50–80%-ban oxidálódik, és ennek csak a 20–50%-a marad a termékben. A folyékony fém – salak-gáz fázisokkal dolgozó nyersvasgyártási, acélgártási és üstmetallurgiai rendszerekben a kén jelentős része megoszlás révén a célszerűen kialakított salakokban gyűlik fel. A vaskohászat termelőberendezései soros rendszerűek. Ez azt teszi lehetővé, hogy a kiválasztott elem kihozatalait, a kiindulási ponttól a befejező pontig multiplikatív módon kumulálhassuk.

3. Az acél kéntartalmának meghatározása

A késztermék kéntartalma szempontjából lényeges szerepet tölt be az alapanyagokkal bevitt kén tömege. Ebből a szempontból a brammára mint késztermékre vonatkoztatott fajlagos tömegek és a kéntartalom értéke az egyik mérvadó tényező. Az alábbiakban a Dunaferrből származó mennyiségi és minőségi átlag-

adatok segítségével mutatjuk be a kumulált kénkihozatal alkalmazhatóságát és az ebből levonható következtetéseket [3].

A táblázat adataiból megállapítható, hogy a metallurgiai vertikumi rendszer kénbevétele a bramma tömegéhez viszonyítva kb. 4 kg/t. A kéntelenítés hiányában ez az érték az acélban 0,40% kéntartalomnak felelne meg. A 2. táblázat utolsó oszlopa szerint a bevétel kb. 90%-a a szénben levő kéntartalommal kerül a vertikumba. Ismerve napjaink követelményeit, megállapíthatjuk, hogy a fenti S-tartalomnak csak 40–50-ed része maradhat vissza. A visszamaradó rész nagyságát illetően döntő tényező a különböző termelő berendezésekben végbemenő kéntelenítési reakciók hatásfokának, illetve kénkihozatalának ismerete.

Az egyes termelőegységek egyedi kéntelenítési hatásfoka a gyakorlatból ismert, vagy könnyen meghatározható. A tanulmány többek között arra hívja fel a figyelmet, hogy a kihozatalok kumulálhatók, amiből több előny is származik. Tekintve, hogy az egyes termelőegységek alapanyagai adottak, a kumulált kihozatalokat az alapanyagokra is meghatározhatjuk.

Az alábbiakban ezeket vizsgáljuk. A késztermék vagy a közbelső termékek kéntartalmának becsléséhez a bekerült, illetve felhasznált alapanyagokban levő kén tömegére és az egyes technológiák kénkihozatalára egyaránt szükség van. Az acél végső kéntartalmának becsléséhez a közbelső termékek kéntartalmára egyébként nincs szükség, mivel ezek adódó értékek. Ez a tény meglehetősen megkönnyíti az adott körülmények között érvényes kénforgalommal kapcsolatos számításokat. Az alábbi táblázatban – a széntől az üstmetallurgiai mészig haladva – a felhasználás sorrendjében tüntetjük fel a tipikus alapanyagok egyedi és a kumulált kihozatalait. A kumulált kénkihozatal a

$$k = \prod_{i=1}^n k_S^i \quad (5)$$

képlettel határozzuk meg, melybe $i = 1$ -től n -ig be-

2. táblázat. A vizsgálati modellben szereplő fajlagos tömegek és azok kéntartalma

	Alapanyag kg/t _{bramma}	S-tartalom %	Kén tömege kg/t _{bramma}	Részesedés a S-bevitelből, %
Szén	500	0,710	3,550	89
Zsugorítói tüzelőanyag	23	0,710	0,163	4
Agglóércék és mészke	700	0,020	0,140	4
Pellet	500	0,010	0,050	1
Vásárolt hulladék, ötvöző	190	0,025	0,048	1
Saját hulladék	110	0,010	0,011	0,3
Konvertermész	67	0,020	0,013	0,3
Üstmetallurgiai mész	5	0,020	0,001	0,1
Összesen			~4,000	100

3. táblázat. A tipikus alapanyagok kumulált kihozatali értékeinek számítása

Alapanyag megnevezése	A technológiák egyedi kénkihozatalai					Kumulált kihozatal $k = \Pi k_i$
	Kokszolás	Vasérc-zsugorítás	Nyersvas-gyártás	Acélgyártás	Üstmetallurgia	
Szén	0,64	(1,0)	0,05	0,60	0,85	0,016
Zsugorítói tüzelőszer	0,64	0,5	0,05	0,60	0,85	0,008
Agglóérc és mészke	(1)	0,5	0,05	0,60	0,85	0,013
Pellet	(1)	(1)	0,05	0,60	0,85	0,026
Vásárolt hulladék	(1)	(1)	(1)	0,60	0,85	0,510
Saját hulladék, ötvöző	(1)	(1)	(1)	0,60	0,85	0,510
Konvertermész	(1)	(1)	(1)	0,60	0,85	0,510
Üstmetallurgiai mész	(1)	(1)	(1)	(1)	0,85	0,850

4. táblázat. Az acél végső kén tartalmának meghatározása

	Betétben levő kén tömege, kg/t _{bramma}	Kumulált kihozatal (-)	Acélba jutó kén tömege, kgS/t _{bramma}	A végső kén tartalom forrásai, %
	m_s	k_s	[S]	[S]
Szén	3,550	0,016	0,057	57
Zsugorítói szénpor	0,163	0,008	0,001	1
Agglóérc, mészke	0,140	0,013	0,002	2
Pellet	0,050	0,026	0,001	1
Vásárolt hulladék	0,048	0,510	0,024	24
Saját hulladék, ötvöző	0,011	0,510	0,006	6
Konvertermész	0,013	0,510	0,007	7
Üstmetallurgiai mész	0,001	0,850	0,001	1
Összesen	~4,000		~0,100	100

számítjuk az összes technológia kénkihozatalát. Amennyiben a kénhordozó anyag nem az első technológiai fázistól kezdve vesz részt a metallurgiai folyamatokban, ott egy, az (1)-gyel jelölt szimbolikus szorzót alkalmazunk az első nem érintett technológiáknál. A számítások eredményeit a 3. táblázat tartalmazza.

A kohászati vertikum jellemző kénforgalmának ismeretében kijelenthető, hogy a rendszerbe belépő és ott különböző folyamatok révén osztódó kénáramok jellemző módon jutnak a gázfázisba, a salakokba és végül az acélba.

A 3. táblázat és az 1. ábra értelmében a kokszolásra felhasznált szénelegy kén tartalmának 1,6%-a marad az üstmetallurgiai kezelésen átesett acélban, míg pl. a jóval kisebb kén tartalmú acélhulladéknak pedig az 51%-a. Ez azt jelenti, hogy a szén kén tartalmának 98,4%-a a különböző kén telenítési folyamatok révén

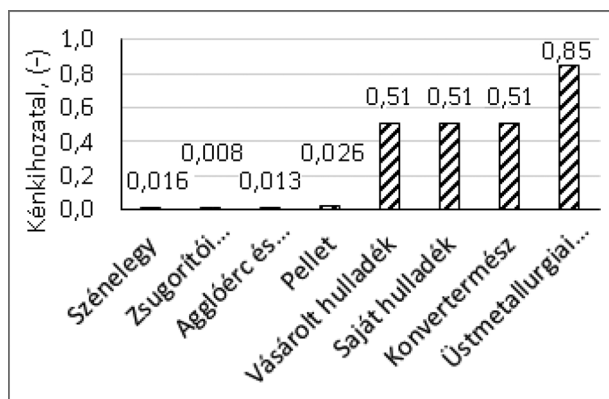
eltávozik a rendszerből, míg az acélhulladékra jutó kén telenítési fok kb. 49%.

A különbség főleg a technológiák jellegzetességének és egyedi kén telenítőképességének köszönhető, de megfigyelhető a technológiai távolságok hatása is. Ez utóbbi szerint minél több kén telenítési fokozaton megy át a kén, annál kevesebb kerül belőle az acélba.

Az acél végső kén tartalmának meghatározásához a kumulált kihozatalok elvének megfelelően csak a metallurgiai rendszerbe belépő anyagokban levő kén tartalomra és a kumulált kihozatalokra van szükség. Az acél végső kén tartalmának meghatározása a 4. táblázat szerint történik.

Az acélba jutó kén tartalom fajlagos tömege a (4) képlettel számítható:

$$[S] = \sum_1^8 m_s \cdot k_s \quad \text{kgS/t}_{\text{bramma}}, \quad (6)$$



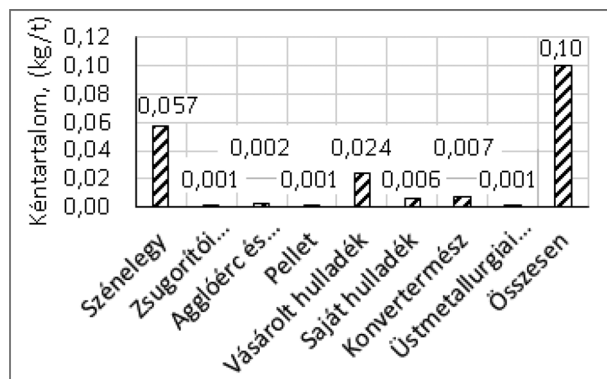
1. ábra. A vaskohászati alapanyagokban levő kén tartalom egyedi kénkihozatalai

mely szerint alapanyagoként össze kell adni az acélba jutó kén résztelegeit. A számítás szerint az üstmetallurgiai kezelésen át esett acélba összesen 0,10 kg/t fajlagos kénmennyiség kerül, melynek koncentrációs értéke $[S] = 0,010\%$. Ez az érték jól egyezik a Dunaferrben gyártott acélok kén tartalmával.

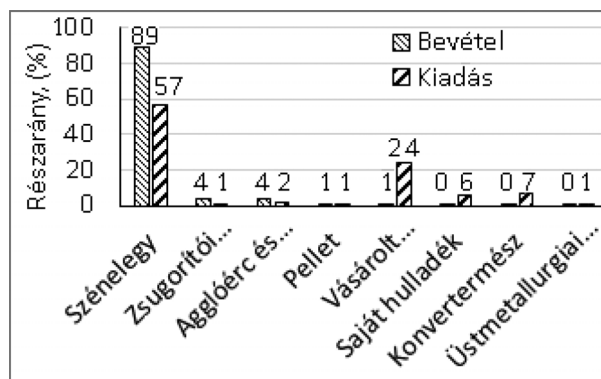
A 4. táblázat tartalmazza az acélba került kén tartalom forrásait is, mely eseteként jelentősen különbözik az alapanyagokkal bekerült kén arányaitól. Az alapanyagokban jelen levő kén tartalom 90%-a a szénben van, míg ebből csak 57% jut az acélba.

Az acél kén tartalmának kialakításában döntően a szén és a vásárolt hulladék vesz részt. Az előbbi kiemelt szerepe a jó kén telenítési viszonyok ellenére is a nagy kén tartalomnak köszönhető, a viszonylag kis kén tartalmú vásárolt hulladék pedig azért jut kiemelt szerephez, mert kis hatásfokú kén telenítési folyamatokon megy át. Feltűnő a vásárolt acélhulladékban levő kén tartalom hatása. Ennek részaránya a bevételi oldalon 1%, míg ebből az acélba S-tartalom 24%-ra adódik. Ezt mutatja a 3. ábra. A különbség a sajátos metallurgiai viszonyokból fakad.

A 4. táblázat és a 2. ábra azt mutatja, hogy az acél 0,10 kg/t kén tartalma milyen forrásokból tevődik össze.



2. ábra. Az acél kén tartalmának forrásai kg/t-ban



3. ábra. A kénbevitel és az acélba jutó rész forrásai alapanyagok szerint

A kezdeti és a végső állapotokat tanulmányozva kiderül, hogy a 4,0 kg/t kénbevitelből 0,10 kg/t kerül az acélba, a többi különböző módon a fő fázisból eltávolításra kerül. Ennek alapján a következő módon számíthatunk egy vertikumi kén telenítési hatásfokot (η_s):

$$\eta_s = \frac{4,0 - 0,10}{4,0} \cdot 100 \approx 97,5\%, \quad (7)$$

Megállapíthatjuk, hogy számításunk szerint az eredő vertikumi kénkihozatal értéke, az $\eta_s = 97,5\%$ kén telenítési hatásfok alapján $k = 0,025$, melynek értéke közel van a szén kén tartalmára megállapított 0,016-hoz.

4. A kumulált kénkihozatal és a vertikumi kénmodell jelentősége és további felhasználási lehetőségei

A kumulált kihozatalok elvének gyakorlati alkalmazási előnyei között az egyszerűséget és a könnyű alkalmazhatóságot kell kiemelni. Segítségével felállítható az egyedi termelőberendezések és a vertikumi kén mérlege. Ennek keretében világos módon, összehasonlíthatóan és könnyen ellenőrizhetően rendelkezésünkre állnak a bevételi és a kiadási oldal súlyponti tételei. Ez utóbbi előnyök főleg a kén gazdaságkodás és a vertikumi kén telenítési műveletek megtervezésénél válnak hasznossá.

Az elmondottak alapján nyilvánvaló, hogy a kis kénkihozatali technológiai utakra kerülő alapanyagok kén tartalma szinte elhanyagolható, a beszerzésnél nem képezik műszaki-gazdasági vagy kereskedelmi mérlegelés tárgyát. Ilyenek az agglóérc és a pelletek. A végtechnológiához közeli, kis kén telenítési hatásfokot nyújtó felhasználói útra kerülő alapanyagok kén tartalmának ezzel szemben sokkal nagyobb hányada kerül az acélba. Ilyen anyagok tipikusan az acélhulladékok és a salakképzők. Egyértelmű tehát, hogy 1 kg szénnel, érccel vagy acélhulladékkal bekerült kén más-más kén tartalom-növekedést okoz az acélban.

Sajnálatos módon ezzel a komplex vertikumi eszközzel még nem él a gyakorlat. A szén-, az érc- és a hulladékbeszerzés külön kezekben összpontosul, és az egyedi termelőberendezések üzemeltetői már adott betétviszonyokkal találkozhatnak. A vertikumban folyó kéntelenítési folyamatok tervezését és értékelését a világ legtöbb üzemében egyedi üzemi szinten értékelik.

A kéntelenítési folyamatok megtervezését – beleértve a beszerzéssel bekerült kén mennyiségének szabályozását is – célszerű vertikumi szinten szabályozni. Önmagában pl. egy kokszolómű sohasem vagy csak a világtendenciák követése okán csökkentené a beszerzési prioritásai módosításával a koksz kén tartalmát, de az már csak egy központi vertikumi koordináció révén derülne ki, hogy egy adott vertikum részeként milyen S-tartalmú kokszot célszerű gyártania. Egy vertikumban a kéntelenítés súlyponti berendezései egybeesnek a legnagyobb kéntelenítési hatásfokot adó technológiák helyeivel. Ez az oka annak pl., hogy egy frissítést végző acélgyártásnál, a kéntelenítés csak másodlagos szempont, míg a nagyolvasztó a kéntelenítés egyik fő eszköze.

5. A vertikumi kénmodell felhasználási lehetőségei

Az 1., 2. és a 4. táblázat adatai egyértelműen feltárják az acél kén tartalma és a szén minősége közötti szoros kapcsolatot. Ebből fakadóan az acél és a közbenső termékek kén tartalma csökkentésének legegyszerűbb módja a vertikumba kerülő alapanyagok kén tartalmának csökkentése. Az összefüggés egyébként már évtizedek óta ismert. Egy korai üzemi mondat szerint a kéntelenítés legegyszerűbb módja az, ha a kén meg sem vásárolják. Ennek ismeretében döntött még az 1980-as években úgy a Dunaferri jogelődjének műszaki vezetősége, hogy a szénelegy jelentős részét képező donyecki szeneket a jóval kisebb S-tartalmú cseh és lengyel szenekre cseréli le. Ennek eredményeképpen, az 1,5%-os S-tartalmú szenekről a 0,67%-os S-tartalmúakra áttérve a koksz S-tartalma 1,3%-ról kb. 0,65%-ra csökkent, amivel párhuzamosan a nyersvas S-tartalma a 0,035% körüli értékről kb. 0,018%-ra csökkent.

Egy vertikumban a szénelegy kén tartalmával történő kén tartalom-szabályzás eseteként nagy mennyiségű kénbevitel csökkentésre ad lehetőséget, de megvannak a korlátjai is. Mindenekelőtt a szénbeszerzés ki van téve a kereslet-kínálat áringadozásainak és az ideiglenes készlethiányoknak, melyek miatt a szénbeszerzésben a szénminőség kérdése gyakran a második helyre szorul. Mindezeket túl az ad hoc jellegű szénbeszerzésben megfigyelhető a gyengébb minőségű szenek váratlan, dinamikus kénnövelő és a vertikumi termelőberendezéseken továbbgyűrűző hatása is. A hatások tompítására jól használható a nagyolvasztói vagy a kohón kívüli kéntelenítés. Végül a

szén- és kokszbeszerzés szabályozó hatásairól meg kell jegyezni, hogy finomszabályzásra nem használható. Fő feladatának a tartósan alacsony kén tartalom biztosítását kell tekinteni.

A nyersvasgyártás a metallurgiai eszközökkel végzett kéntelenítés fő bázisát képezi. A nagyolvasztóban a kén eltávolítása kompromisszumos módon történik, melynek lényege, hogy a kis kén tartalom nagy salakmennyiséggel és az azzal járó nagyobb fajlagos kokszfogyasztással érhető el, melyek egymásnak ellentmondó követelményeket takarnak. Az acél minőségével szemben támasztott követelmények és a gazdaságosság kényszerítő körülményei a nyersvasgyártókat is fokozott követelmények elé állítják. Ennek következtében a salakmennyiség az utóbbi 40 évben kb. 600-ról 300 kg/t-ra csökkent, az iparilag fejlett országokban pedig már 200 kg/t alatt van, ami egyértelműen a kéntelenítési hatásfok csökkenését is jelzi. A csökkenő salakmennyiség kéntelenítési hatásfokot rontó hatása még mindig a nyersvasgyártásnál maradván könnyen ellensúlyozható a kénmegoszlási állandó értékének növelésével. A pl. $L = 25$ -ös kénmegoszlási tényezővel és 600 kg/t salakmennyiséggel dolgozó nagyolvasztó kéntelenítő hatása 300 kg fajlagos salakmennyiséggel is ugyanakkora marad, ha a kénmegoszlási állandó értékét $L = 50$ -re, 200 kg/t salakmennyiség esetén pedig $L' = 75$ -re növelik. Ez a javulás a bázikusság növelésével érhető el, amely a salak mennyiségét és az ahhoz tartozó fűtőkoksz mennyiségét csak kismértékben növeli.

Az imént idézett salakmennyiség-megoszlási állandó (L_m) paraméterpár szisztematikus változtatása sokáig a nagyolvasztók jól kihasználható stratégiai eszköze volt a kénviszonyok kezelése területén.

A csökkenő salakmennyiség kompenzálására célszerűen használható az L kénmegoszlási állandó növelése, de csak egy bizonyos határig, mintegy $L = 80$ – 100 értékig, mivel ezen az értéken túl a bázikusság növelésére a salakok viszkozitása már rohamosan nőne. Ezen elvi határérték elérésekor a nagyolvasztók üzemeltetői kénytelenek voltak újabb kéntelenítési stratégiai megoldásokat keresni. Ennek és más megfontolásoknak a következtében az igen kis salakmennyiséggel dolgozó nagyolvasztók áttértek a kemencén kívüli kéntelenítésre. Ennek több oka van: elsődlegesen az, hogy számos üzemben a nyersvasgyártás rövid távú termelési prioritásában nem a kén tartalom, hanem a termelékenység növelése és a termelési költségek csökkentése a fő cél. Főleg az ilyen esetekre jellemző, hogy az üzemek kialakították a kemencén kívüli kéntelenítést, később pedig a komplex deszilizáló-kéntelenítő-foszfortalanító berendezéseket is. Ennek hatására nőtt a termelékenység, és csökkent a kokszfogyasztás, valamint a betét S-tartalma.

A nyersvasgyártás rugalmas üzemi adottságai a kokszolónál sokkal jobb feltételeket biztosítanak a nyersvas kéntartalmának alsó és felső határok közötti szabályozására, illetve egy bizonyos időszakra a szokottnál jóval alacsonyabb értéken való tartására. Ennek időtartama néhány hét lehet, mely alatt legyártható az a nyersvas mennyiség, mely egy kis kéntartalmú rendelés acélműi legyártásához szükséges.

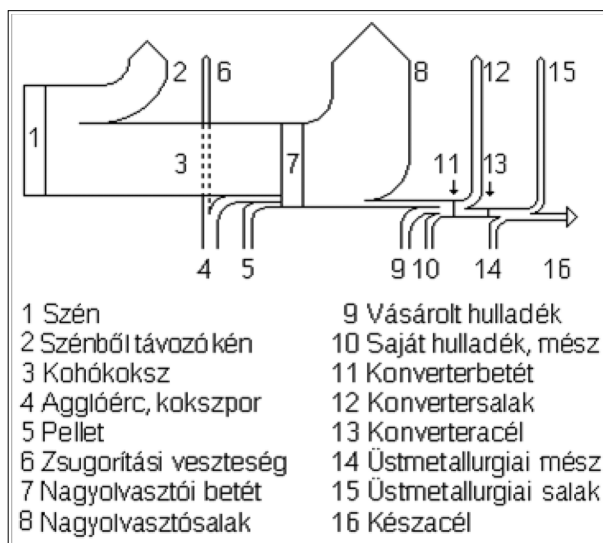
Meg kell jegyezni, hogy a gyártandó acélok minőségére vonatkozó kénelőírások egy vertikumban változhatnak. Az általános előírásoknak megfelelő közepes kéntartalmú acélok előállítását megvalósító kénvezetésre a nyersvas kéntartalmának szabályozását és adott szintre való optimális beállítását használják. Ezeknek a műveleteknek a tervezésében általában nem szánunk súlyozottabb szerepet pl. a konverteres acélműnek, de természetesen figyelembe veszik a spontán kéntelenítési hatásfokát. A szokottnál kisebb kéntartalmú és időlegesen jelentkező acéladagok kezelésére általában a szekunder üstmetallurgiai berendezéseket használják. Az eddigi fejtegetések alapján egyértelmű, hogy a vaskohászati vertikum mindegyik anyagbelépési pontján lehetőség van a vertikum kénbevitelének a változtatására, viszont nem mindegyik ponton van lehetőség a kénkihozatal operatív megváltoztatására. A fentiek tükrében fontos annak ismerete, hogy egy vertikumnak melyek a teljesítési határai.

Az utóbbi időkből vertikum életében egyre nagyobb szerepet játszik a CO₂-kibocsátás. Egyértelmű, hogy a fajlagos kokszfogyasztás csökkentése együtt jár a CO₂-emisszió csökkentésével.

6. A kénmérleg és a kumulált kénkihozatal kapcsolata

A korábbi fejezetek alapján nem lehet kérdéses, hogy szoros összefüggés áll fenn a vertikum bármely kénárama és a kénmérleg egyes tételei között. Ennek a felismerésnek a birtokában könnyen meghatározható bármely termelőegység kénárama, megszerkeszthető a kénmérlege, illetve megrajzolható a Sankey-diagramja.

Egy tetszőlegesen kiválasztott anyagáram, pl. a nyersvas kéntartalmának meghatározása az 5. táblázat



4. ábra. A vertikum kénmérlegének Sankey-diagramja

zatban feltüntetett módon történik. Ennek általános képlete [4]:

$$m_{S\delta} = \prod_{i=1}^n m_{S_i} k_{\delta_i}, \quad (8)$$

ahol $m_{S\delta}$ a vizsgált anyagáramba kerülő kén összes tömege, m_{S_i} az i -edik alapanyaggal bevitt kén tömege ($\text{kg}/t_{\text{bramma}}$), k_{δ_i} az adott alapanyag technológiai útján érvényes összesített kénkihozatal. Amennyiben egy veszteségtételt vizsgálunk, az oda bekerült kénáram a következő:

$$m_{S\delta} = \prod_{i=1}^n m_{S_i} k_{i-1} (1 - k_i). \quad (9)$$

Amennyiben veszteségtételt számítunk, az 5. táblázat 2. oszlopában a 0,05-ös értékű tényezőt 0,95-re cseréljük. A nyersvasba kerülő kén tömegáramának számítása konkrétan az 5. táblázat szerint követhető nyomon.

Mivel a kénbevitel akkumulációját a nyersvasgyártási fázisig végeztük el, a nyersvas kéntartalmát úgy kapjuk meg, ha a vizsgált kén tömeget a fajlagos nyersvas tömegére (jelen esetben 810–820 kg/t bramára) vonatkoztatjuk.

$$[S] = \frac{S_{\text{kum}}}{N_y} \cdot 100 = \frac{0,122 \cdot 100}{750} = 0,016\%.$$

5. táblázat. A nyersvas kéntartalmának meghatározása az 1, 2. és 3. táblázat adataival

	Kén tömege, $\text{kg}/t_{\text{bramma}}$	Részlegesen kumulált k	$m_i \cdot k_{\delta_i}$, $\text{kg}/t_{\text{bramma}}$
Szén	3,550	$0,64 \cdot (1) \cdot 0,05 = 0,032$	$3,550 \cdot 0,032 = 0,1136$
Zsugorító tüzelőanyag	0,163	$0,64 \cdot 0,5 \cdot 0,05 = 0,016$	$0,163 \cdot 0,016 = 0,0026$
Agglóérc és mészkő	0,140	$(1) \cdot 0,5 \cdot 0,05 = 0,025$	$0,140 \cdot 0,025 = 0,0035$
Pellet	0,050	$(1) \cdot (1) \cdot 0,05 = 0,050$	$0,050 \cdot 0,005 = 0,0025$
Összesen	–	–	0,1222

6. táblázat. A 2. táblázatban alapul vett paraméterek lehetséges megváltoztatásának hatásai

Intézkedés megnevezése	m. e.	Eredeti paraméter	Megváltozott paraméter	Acél S-tartalma, (%)
Eredeti elegy	–	–	–	0,0100
Fajlagos szénfelhasználás csökkentése	kg/t	500	450	0,0094
Kisebb kén tartalmú szén beszerzése	%	0,71	0,61	0,0091
Nagyolvasztói L növelése	–	60	70	0,0091
Vásárolt hulladék cseréje belső hulladéokra	%	0,025	0,010	0,0085
Üstmetallurgiai kénkihozatal javítása	–	0,85	0,75	0,0075
Az öt paraméter együtt	–	–	–	0,0066

A szükséges tételek kiszámításával meghatározható az egész vertikumra vonatkozó Sankey-diagram is. Ez utóbbit mutatja a 4. ábra.

7. A paraméterek változtatásával elérhető legkisebb kén tartalom meghatározása

Ebben a fejezetben a Dunaferr viszonyai között esetlegesen megvalósítható paramétereknek az acél kén tartalmára való hatásait fogjuk vizsgálni. Az alábbiakban a 2. táblázat néhány kiválasztott paramétere lehetséges megváltozásának az acél kén tartalmára kifejtett hatását vizsgáljuk annak feltételezésével, hogy a többi paraméter értéke állandó. Ez a feltételezés bizonyos módszertani kritikára adhat okot, mivel a módosított paraméterek általában másodlagos hatásokat generálnak, melyeket már itt nem követünk tovább. A megváltozott paramétereket és a kén tartalomra kifejtett hatásait a 6. táblázat mutatja.

Az első paraméterváltoztatás 50 kg/t_{ac} szénelegy csökkentést mutat, mely megfelel 48 kg kokszt/t_{nyv} fajlagos kokszfogyasztás csökkenésnek. Ez a hatás pl. szénhidrogén befűvéssel érhető el, mely lényegesen nem változtatja az elegyviszonyokat. Ennek hatására az acél S-tartalma 0,0094%-ra csökkenne. Egy másik beavatkozás, a szénelegy S-tartalmának 0,61%-ra való csökkenését mutatja mely az acél S-tartalmát 0,0091%-ra csökkentené.

A nagyolvasztóban uralkodó kénmegoszlási állandónak 60-ról 70-re való növelése az acél kén tartalmát 0,010%-ról 0,0091%-ra csökkentené. A számítások szerint egy ideiglenes hatályú intézkedés révén, azaz a vásárolt hulladék teljes mennyiségét kis kén tartalmú belső hulladéokra cserélve, 0,0085% kén tartalmú

acélt kapnánk. Érdemleges hatással járna az üstmetallurgiai kezeléssel megvalósuló kénkihozatal javítása is. Ezek szerint, ha a 0,85-ös kénkihozatalt 0,75-re javítanánk, az acél kén tartalma 0,0075%-ra csökkenne. Amennyiben a hat fenti hatást együtt sikerülne megvalósítani, akkor az acél S-tartalma 0,0066%-ra csökkenne.

Mind a jelenlegi berendezések kéntelenítő kapacitása, mind a hat elvi intézkedés azt mutatja, hogy a passzív üstmetallurgiai kezelőállomással rendelkező metallurgiai vertikum szélső esetben ki tudja elégíteni a kb. 0,005% kén tartalomig terjedő jelenlegi és a közeljövőben várható műszaki előírásokat. Tekintve, hogy a világ acélgártásában már gyakoriak a 0,001–0,002 S-tartalmú speciális acélok, és a tömegacélok kén tartalmában is további csökkenés várható, elengedhetetlennek látszik a nagyolvasztók után megvalósítandó, valamilyen kohón kívüli kéntelenítő berendezés vagy az aktív üstmetallurgia vákuumozással kombinált változtatának a telepítése [5].

IRODALOM

- [1] Seshadri S. (ed., 2014): Treatise on Process Metallurgy, Vol. 3: Industrial Processes. Elsevier.
- [2] Kitamura, Shin-ya (2014): Treatise on Process Metallurgy. Chapt. 1.3, Hot Metal Pretreatment, pp. 177–221. DOI: 10.1016/B978-0-08-096988-6.00015-8
- [3] Szerző nélkül. Dunaferr Műszaki osztály 2000–2001. Szóbeli közlések.
- [4] Hári L. (2021): Nyersvasgyártás példatár. Magánkiadás. Dunaújváros, p. 26.
- [5] Frank N., et al. (2017): Sulphur removal in ironmaking and oxygen steelmaking. Ironmaking & Steelmaking, 44/5.