

Különleges hulladékok feldolgozási lehetőségei a nagyolvasztóban

Special waste processing profitabilities in the blast furnace

DR. HÁRI LÁSZLÓ, PHD
nyug. okl. kohómérnök, Dunaújvárosi Egyetem
E-mail: harilaszlo50@gmail.com



A nyersvasgyártás során a több évszázada vasércből, salakképzők és kokszt segítségével folyékony nyersvasat állítanak elő. A nyersvasgyártás és általában a kohászat hőtechnikai szimulációs módszerei lehetővé teszik számos hulladék hasznosítása sikerességének előrejelzését. A kohászat eddig szűklátókörűen, általában a belső üzemi viszonyainak vizsgálatára alapozva élt a reciklási lehetőségeivel – az acélhulladék és a reve kivételével –, és többnyire eltekintett a gazdaság egyéb iparágában keletkező hulladékok felhasználásától. A publikáció négy nem vastartalmú, különlegesnek számító hulladék műszaki-gazdasági analizisét mutatja be, ezzel is kibővítve a vállalaton kívüli szférában keletkező hulladék, köztük a veszélyes hulladék nyersvasgyártásban való felhasználhatósági lehetőségét.

Kulcsszavak: hulladék, azbeszt, üveg, magnezittégla

For centuries, pig iron has been produced from iron ore using slag formers and coke to produce liquid pig iron. Thermal simulation methods of pig iron production and metallurgy in general make it possible to predict the success of the disposal or recovery of many wastes. So far, the metallurgy has made use of its recycling potential in a narrow way, generally based on an examination of its internal operating conditions, and has largely refrained from using waste from other industries in the economy, with the exception of steel scrap and steel scale.

The publication has taken advantage of this opportunity. The paper presents examples of the techno-economic analysis of four non-ferrous, so-called special wastes, thereby extending the scope of the potential of waste, including hazardous waste, from the external sector to the production of pig iron.

Keywords: waste, asbestos, glass, magnesite bricks

1. Bevezetés

A nagyolvasztó hagyományos felhasználási helye a nagy vastartalmú, általában oxidos hulladékoknak, mint pl. a reve vagy a köszőrüiszap. Klasszikusan ide tartoznak az olyan belső hulladékok, mint a szállópor, a nedves porleválasztói iszapok vagy újabban a pácolósori savregenerációból származó vasoxid. Ezen anyagok Fe-tartalmával ferrumot lehet megtakarítani, amivel csökkenthető a megvásárolt vasérc mennyisége. Nem tartozik a cikk témájához az acélgyártás során reciklált fémes állapotú vas- és acélhulladék.

A nyersvasgyártás nem fémes alapanyagai között hagyományosan a mészkő és a dolomit képezi a salakképzést magas CaO- és MgO-tartalmukkal. A

vertikumban keletkező, a salakképzéshez felhasználható hulladék mennyisége viszonylag csekély, viszont az ipar egyéb területein számos olyan hulladék van, melynek fő komponensei a nyersvasgyártási salak négy fő oxidjából állnak. Ezen anyagok bizonyos csoportjai szintén felhasználhatók.

2. A nagyolvasztói ártalmatlanításra szánt hulladékok jellemzése

Az alábbiakban az azbeszt, az üveg és a magnezittégla hasznosításának műszaki-gazdasági feltételeit tekintjük át. Magyarországon a különleges hulladékok nagyolvasztói kezelésére kevés példa van. Ennek oka a nyersvasgyártás stratégiai működtetése témájában kialakult hatósági és üzemi tanácstalanság.

Az 1945 óta inséges ércellátásától a 80-as évek közepéig áthúzódó egyre javuló betétviszonyok és az ezekkel járó egyre impozánsabb termelékenységi mutatók a 80-as, 90-es évek végére több középvezetőben azt a sarkalatos véleményt alakították ki, hogy „nincs szükség a szemétre a nyersvasgyártásban”. A szemétként aposztrofált hulladékok ebben az esetben az addig ismert olyan hulladékokat jelentették, mint például a kohászati vertikumokban képződő acélműi salak, forrasztósalak, halnai hulladékok, hengerműi reve vagy a külső források által kínált mész hulladék, galvániszap-hulladékok vagy bizonyos kommunális hulladékok. Ezeknek a betétanyagoknak az időnkénti kényszerű felhasználása, a többféle betét megjelenésével megnövelte a betét összegyűjtésének idejét és ingadozóvá tette a nyersvas minőségét. Az előbbi esetekben sokkal egyszerűbb volt az üzemeltetés oly módon, hogy évi egy vagy két, viszonylag nagy Fe-tartalmú ércfésülésből kialakított betéttel dolgozott a nagyolvasztó. A 80–90-es években már aktív szerepet játszó környezetvédelmi felügyelőségek szakismerte nem tette lehetővé az aktív szerepvállalást abban, hogy elősegítsék a különböző vállalatoknál keletkezett hulladékok más üzemekben történő feldolgozását. Mégis, a 90-es évektől a vállalkozói kapcsolatok fejlődésével egyre közismertebbek lettek a különböző termelői helyeken képződő hulladékmennyiségek, illetve ezek minősége, és országszerte elfogadottá vált az az elv, hogy „a hulladék nem szemét, hanem másodnyersanyag”. A másodnyersanyag a hulladék újrahasznosítása során keletkező olyan nyersanyag, amelyből új termék állítható elő. Előnye, hogy csökkenti a kitermelt természetes, elsődleges erőforrások mennyiségét, így a kitermelés okozta környezetszennyezést, nem okoz tájsebeket, és általában az is igaz, hogy a másodnyersanyagból energiatakarékosabban és olcsóbban lehet a készterméket előállítani. A másodnyersanyagok hasznosításában a nyersvasgyártásnak kiemelt szerepe lehet. Az alábbiakban vizsgált négy anyag is ilyen lehetőségeket kínál.

2.1. Az azbeszttermékek vizsgálata

Az azbesztásványok többféle változata két nagy csoportba sorolható: a szerpentinek csoportja lemezszilikátokat képez, az amfiból-azbesztek pedig a láncszilikátok csoportjába tartoznak.

- A legismertebb szerpentinásvány a *krizotil*, más néven *fehér azbeszt*. Képlete $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, (vagy $\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$). Könnyű, igen nagy finomságú szálakra osztható. A színe fehér, sötét, sárgás. A szál puha, simulékony, magas tépőszilárdsággal rendelkezik, rugalmassága jó. Szövésre kiválóan alkalmas. A szerkezete kötegelt szálak (fibrillek), melyek rendkívül vékonyak (kb. 0,000015–0,00004

mm) és ezért csak elektronmikroszkóppal láthatók. Összehasonlításként az emberi haj kb. 0,04 mm vastagságú. A fibrillek üreges testű szálak, lúgálló képességük igen jó, a saválló képességük azonban gyenge.

- Az amfiból-azbesztek alkálimentes és alkálitartalmú fajtákra oszthatók. A *krokidolit* (kék azbeszt) képlete $\text{Na}_2\text{Fe}^{2+}_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ durva szálakból áll, szövésre kevésbé alkalmas. Az amozit (barna azbeszt) képlete $(\text{Mg}, \text{Fe})_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$. A krokidolit kevésbé alkalmas szövésre, mint a krizotil, az amfiból-azbeszt többi fajtáját pedig csak mérsékelten vagy egyáltalán nem lehet szőni.

Az azbesztásványoknak alapvetően két ipari felhasználási formája van. A szórt vagy kis kötőanyag-tartalmú azbeszt 80–95%-ban tartalmaz azbesztásványokat. Szigetelésre, laboratóriumi felszereléseknél (azbesztháló), kályhák, radiátorok és kazánok környezetében azbesztlapként, továbbá fékpofákban alkalmazzzák.

Az azbesztcement 5–10% azbeszttet tartalmaz cementbe ágyazva, a cement rugalmasságát, stabilitását és kémiai ellenállását javítja. Leggyakoribb megjelenési formája a sík és hullámpala, valamint az eternitcső [1].

Az azbesztek további jellemző felhasználási területei a kábelek, épületek tűzvédelmi anyagai, védőruházat; kemencék, fűtőberendezések hőszigetelése; fűtőberendezéseknél és kocsik sebességváltója. Használták a tömítésekben és súrlódó berendezésekben, az elektromos berendezésekben szigetelésre, gyógyszeriparban korrózió elleni védelemre, radioaktív sugárzás elleni védelemre az atomiparban, a cementiparban rugalmasságot, stabilitást és kémiai ellenállást javító adaléknak. Az azbeszttartalmú termékek száma a világon a közelmúltban elérte a 3000-et. A világ azbeszttermelésének és felhasználásának 90%-át a krizotil teszi ki [1].

A felhasznált azbeszt különböző formái különböző mértékben bomlanak le (rostokra) és jutnak be a környezetbe.

A szórt azbeszt cementtel vagy vízüveggel van felületekhez kötve, a kötés hamar előregedik, a lemálló azbesztszálak már a szél hatására levegőbe kerülnek. Az azbesztcementben az ásvány jól megkötött formában van jelen. Az azbesztszálak csak az anyag szétmorzsolásakor kerülhetnek a levegőbe.

Közismert, hogy a 1997-ben több európai országban betiltották az azbeszt felhasználását, kereskedelmét. A végleges uniós tiltásra 2004-ben került sor. Magyarországon az azbeszttartalmú termékek veszélyes hulladéknak minősülnek, amelyeket csak szakvállalatok távolíthatnak el, illetve kezelhetnek.

Magyarországon 2005-ben elindult a Nemzeti Azbesztmentesítési Program, melynek keretében a hulladékok lerakása történik meg. A jelenlegi álláspont szerint a szórt azbeszt eltávolítandó, az eternittermek pedig csak csere vagy meghibásodás révén válnak veszélyes hulladékká.

Magyarországon, mint szerte a fejlett országokban, az azbeszttartalmú hulladék a veszélyes hulladékok csoportjába tartozik, és begyűjtése, szállítása, valamint feldolgozása felügyelőségi engedélyhez kötött.

2.2. Az üveghulladékok áttekintése

Az üveghulladékokról ismeretes, hogy azok a síküvegek és öblösüvegek használata közben keletkeznek. A csomagolási üvegek körforgására a betétdíj kezelése van a legnagyobb hatással, melynek révén a már használt üvegek a forgalmazóhoz kerülnek vissza. Az üveghulladékok egy része, színe szerint válogatva, a gyártókhöz kerül vissza. Bizonyos kis mennyiségű üveg veszélyes hulladékként a veszélyes hulladéklerakókba kerül. Ez a mennyiség potenciálisan a nagyolvasztókba, salakgyártásra felhasználható lenne, ha a többletsalak hasznosításából adódó bevétel fedezné a ráfordításokat. A nyersvasgyártásban általa nem takarítható meg egyéb alapanyag, sőt minden kg SiO_2 nagyolvasztóba adagolása további 1,1 kg CaO beadagolását kíván meg. Az így keletkezett többletsalak megolvasztása további jelentős energiaráfordítást igényel. Ez a mellékjelenség már jól ismert volt a nyersvasgyártók részéről a nagy SiO_2 -tartalmú ércek kohósításánál is, ezért nem meglepő, hogy általában a szakma sokáig idegenkedett a hulladékok felhasználásától.

2.3. Magnezittégla-hulladék

A magnezittégla-hulladék a vaskohászat tipikus belső hulladéka. Képződési helye az acélmű, ahol az üstök használt oldalfali béléséből képződik. Ugyanez érvényes a körkeverő bélésére is. Új állapotában a magnezittégla tiszta anyag, kb. 98%-ban MgO -ból áll. Ismeretes, hogy a salakzónában kátránnyal átítattott téglákat használnak, és az is, hogy a használat alatt a téglákba bediffundálnak a salak alkotói, ezért a használt téglák valamelyest dúsulnak Fe, Mn és Si elemekben. Ez nem akadályozza meg az anyagukban való hasznosítást. Magnezithulladék keletkezik a közbelső üstök maradék béléséből is. A nem szennyezett hulladéktéglák egyéb hasznosítási módja lehet az őrlést követően masszaként is. Az öntödékben az őrlött téglát Hadfield-acél gyártásához formázóanyagként is felhasználható. Nem utolsósorban az őrlött téglákat a kibocsátó acélmű is felhasználhatja salakképzőnek. A nyersvasgyártásban való alkalmazását lehetővé teszi, hogy a nagyolvasztói salakban MgO -hordozóként

használható fel, ami által a szokásosan használt dolumit kiváltható.

3. A hulladékok alapanyag-kiváltó képességének vizsgálata

Bármely hulladék nagyolvasztóban való felhasználása során az alábbi elvárásokat támasztja az átvevő:

1. A hasznosításra szánt hulladék fő komponense minél nagyobb mértékben mutasson hasonlóságot a nagyolvasztóban felhasznált ércek vagy salakképzők valamely komponensével, mivel ez képezi a felhasználás alapját.
2. A hulladék ne tartalmazzon a nyersvas minőségére káros elemeket (S, P).
3. A felhasználni kívánt hulladék kohósítása ne járjon nagy energiafelhasználással.
4. A hasznosításra szánt hulladék ne tartalmazzon a nagyolvasztó falzatának tartósságát csökkentő (pl. Na, K, Zn) vagy az egészségre káros komponenseket (pl. Pb, Ba). Az utóbbi csoportba tartoznak a radioaktív és a rákkeltő anyagok is.

A hulladékok hasznosítása során elvárjuk, hogy annak fő komponense nagyrészt egyezzen meg a felhasznált, azaz helyettesítendő ásványi alapanyagokéval, ugyanis ez képezi a helyettesítés alapját.

A nagyolvasztóban történő hulladékfelhasználás jellegzetessége, hogy a hulladékok és betétanyagok tömegcseréje azonos mennyiségű komponens (pl. CaO) hulladékkal való bevitelén és ugyanennyi, különféle egyéb betétanyagokban jelen levő komponensének az elegyből való kihagyásán alapul. Ez biztosítja, hogy az elegy kiválasztott komponensének összetétele nem változik.

A nyersvasgyártásban történő hulladékfelhasználás további sajátossága az, hogy a legfontosabb komponensmérlegek állandósága mellett nem biztosított az össztömeg állandósága sem, ami egyébként a hőegyensúly feltétele. Ebből következően, ha az egyéni tömegű hulladékkal kiváltott betétanyag tömege egynél kisebb és nagyobb is lehet, akkor a nagyolvasztóba adagolt koksztömeget is ennek megfelelően, a hőállapot egyensúlyának megőrzése érdekében változtatni kell.

A hulladékfelhasználás elvének fenti rövid felvázolása után érthető, hogy a hulladékfelhasználás tervezése, a hulladékkal kiváltott betétanyagok és salakképzők, valamint a koksztömegének meghatározása olyan anyag- és hőmérlegen alapuló modell kidolgozását igényli, mely biztosítani tudja a nagyolvasztó működéséhez elengedhetetlenül szükséges nyersvas- és salakösszetételt, valamint a hőegyensúlyt.

1. táblázat. A felhasznált és a helyettesített alapanyagok vegyi összetétele (m/m%)

Anyag	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Egyéb
Eternit	3	25	6	55	7	3
Szórt azbeszt	1	40	1	10	37	11
Üveg	0	71	1	16	0	12
Magnezittégla	2	4	1	1	90	2
Mészke	1	1	0	54	1	43
Dolomit	1	1	0	32	20	46

A hulladékok felhasználásának gazdasági feltevése az, hogy a felhasznált anyag átvételi díja és a többletsalak értékesítéséből származó árbevétel összege fedezze az olvasztási ráfordításokat és a hasznot. Az olvasztási ráfordítások alatt elsősorban a tüzelőanyag-költségeket kell érteni, másrészt az anyagcserék miatti a költségek eredőjét. Ez utóbbi az alapanyag-helyettesítés révén akár pozitív szaldójú is lehet. Ha a hulladék bevétele csak kismértékű helyettesítéssel vagy egyenesen jelentős többletráfordítással jár, akkor az anyagcserék általában negatív szaldójúak.

Az alábbiakban áttekintjük azokat a származtatott alapanyag- és hulladékjellemzőket, melyek alapján hozzávetőleg megítélhetők a hulladékbevitelnek köszönhető cserearányok. Ennek alapvető feltétele a kémiai összetétel ismerete. Ezt mutatja az 1. táblázat.

Az elővizsgálatokat a következő nagyolvasztói salakkritériumok alapján végezzük:

- A salak bázikusága (B): CaO/SiO₂ = 1,1
- A salak MgO-tartalma: MgO = 10%

Az alábbiakban mindegyik anyagra kiszámoljuk az ún. szabad CaO- és a szabad MgO-tartalmat, mely a helyettesítés nettó igényét és kapacitását mutatja. Ennek képlete:

$$\text{CaO}^* = \text{CaO}\% - B \cdot \text{SiO}_2\%, \quad (1)$$

$$\text{MgO}^* = \text{MgO}\% - s \cdot \text{MgO}_{\text{sal}}\%. \quad (2)$$

A fenti képletekben a *B* a nagyolvasztósalak bázikuságát jelenti, az *s* pedig az 1 kg hulladékból keletkező kohósalak tömegét.

A pozitív CaO* a hulladékban CaO-felesleget jelent, mely előrevetíti az elérhető mészke-megtakarítás lehetőségét, ugyanakkor pl. a negatív MgO* MgO-hiányra utal, mely adott esetben dolomitpótlással biztosítható.

A továbbiakban meghatározzuk az egyes hulladékok mészke- és dolomithelyettesítő képességét. A legegyszerűbb esetben az *i* hulladékkal kiváltott mészke-megtakarítás az alábbi képlettel számítható, pl. eternithulladék esetére:

$$\Delta M_{(\text{eternit})} = \frac{\text{CaO}_i^*}{\text{CaO}_M^*} = \frac{28}{53} = 0,528.$$

A dolomitmegtakarítás 1 kg eternithulladék felhasználásakor a fenti esettel analóg módon:

$$\Delta D_{(\text{eternit})} = \frac{\text{MgO}_i^*}{\text{MgO}_D^*} = \frac{-3}{15} = -0,20.$$

A helyzet bonyolultságát mutatja, hogy a dolomit CaO-tartalma miatt a mészke- és dolomitmegtakarítás számítása összefüggő rendszert képez, ezért az iménti egyváltozós modell helyett minimum kétváltozós, vagyis egy, az CaO*-ot és egy MgO*-ot tartalmazó egyenletrendszerrel kell számolni. Ennek alapján az egy kg eternithulladékkal megtakarított mészke és dolomit mennyiségét a következő egyenletrendszer adja:

$$\text{CaO}_{\text{eternit}}^* = \Delta M \cdot \text{CaO}_M^* + \Delta D \cdot \text{CaO}_D^*,$$

2. táblázat. Az egyes hulladékok szabad CaO- és MgO-tartalma, illetve az egy kg hulladékkal elérhető salakképző megtakarítás

Hulladék	CaO*	MgO*	Δmészke	Δdolomit
Eternit	28	-3	0,671	-0,245
Szórt azbeszt	-34	28	-1,804	1,987
Üveg	-62	-10	-0,812	-0,613
Magnezittégla	-2	80	-3,285	5,552
Mészke	53	1	-	-
Dolomit	31	15	-	-

3. táblázat. Az anyag- és energiamérlegeken nyugvó kibővített alapanyag ráfordítások (kg/kg_{hulladék}). A ráfordítástöbbslet pozitív érték, a megtakarítás negatív

Kiváltott anyag	Mészke	Dolomit	Kokszpor	Kohókoksz	Többsletalak
Eternit	-0,67	0,24	-0,04	0,12	0,72
Szórt azbeszt	1,80	-1,98	0,01	0,18	1,10
Üveg	0,81	0,61	0,10	0,31	1,90
Magnezittégla	3,28	-5,55	0,00	0,00	0,00

$$\text{MgO}_{\text{eternit}}^* = \Delta M \cdot \text{MgO}_M^* + \Delta D \cdot \text{MgO}_D^*,$$

$$28 = \Delta M \cdot 53 + \Delta D \cdot 31,$$

$$-3 = \Delta M \cdot 1 + \Delta D \cdot 15.$$

Az egyenletrendszer megoldása: $\Delta M = 0,671$ és $\Delta D = -0,245$. Ennek alapján az egy kg eternittal 0,671 kg mészke takarítható meg, és az ugyanakkor abban mutatkozó MgO-hiányt további 0,245 kg dolomittal kell pótolni. Az utóbbi logika szerint számított megtakarításokat a vizsgált négy hulladékra a 2. táblázat utolsó két oszlopa mutatja.

A 2. táblázat néhány kiválasztott hulladék mészke- és dolomithelyettesítő képességét mutatja. A felhasznált anyagok vegyi összetételére jellemző, hogy az vasat vagy vasoxidokat nem tartalmaz, ezért valamennyi hulladék vasérc-helyettesítő képessége zérus. Az egyéb helyettesítő képességek sorából kiemelkedik a magnezittégla esete mely mutatja, hogy az 1 kg MgO-tartalmú téglá felhasználásával 5,553 kg dolomitásvány takarítható meg, ugyanakkor 3,285 kg többsletmészke felhasználása válik szükségessé.

A fenti helyettesítő képességek értéke olyan alapérték, mely a tüzelőanyagok járulékos mennyiségének figyelembevételével még bővül, sőt a koksz hamutartalmának tekintetbevételével további másodlagos mészkeszükségletekkel egészül ki.

A hulladékhasznosítás modellezésének egyik alapvető kérdése, azoknak a körülményeknek a meghatározása, melyeknek keretében a hulladékok műszaki-gazdasági hatásait értékelni szeretnénk. Az értékelés akkor következetes, ha csak a vizsgált anyag hatásait mutatja. Ez megköveteli az input és az output jellegű változók elkülönítését, az inputanyagok bizonyos értékeinek állandó értéken tartását, vagyis a *ceteris paribus* elv érvényesítését.

Esetünkben elkerülhetetlen a zsugorítószalagon felhasznált kokszpor és a nagyolvasztói kohókoksz bevonása az anyagcsere értékelésébe. A zsugorításhoz felhasznált mészke és dolomit bontása 4250, ill. 1966 kJ/kg_{CO2} reakcióhő fedezését kívánja meg, illetve ezek megtakarításakor az ezzel arányos kokszpor nem kerül felhasználásra. Mivel a vasércet zsugorításakor karbonátokat használunk fel, ezek kiváltása karbonát-

mentes egyéb hulladékokra kokszpor-megtakarítást is jelent.

A hulladékfelhasználás egy másik energetikai vetülete a nagyolvasztóba kerülő salak mennyiségének kérdése. Az eredetileg használatos mészke és dolomit minden egy kg-jából kb. 0,56 kg nagyolvasztósalak keletkezik, ugyanez az érték a hulladékok esetén közel 1 kg. A hulladékfelhasználás tehát általában salakmennyiség növekedéssel jár, ami *ceteris paribus* a kohókoksz mennyiségének növekedését vonja maga után. A hatások halmozódását mutatja az, hogy a többsletkokszmennyiséggel megnő a mészkeigény is.

A helyzet bonyolultságából egy olyan anyagi-energetikai modell kialakítása segít kijutni, mely az összes anyag kölcsönös hatását tömeg- és energiamérlegekbe foglalva fejezi ki. A modell kibővítésével a CaO- és MgO-ekvivalencia mellett biztosítani kell a zsugorítói és a nagyolvasztói hőekvivalenciát is. A szerző által kidolgozott komplex zsugorítói és nagyolvasztói elegyszámítás biztosítja a felhasznált hulladékok anyag- és energia ekvivalenciájának pontos meghatározását. Az anyag- és energiamérlegeken alapuló modellszámítás eredményeit a 3. táblázat mutatja, mellyel a 2. táblázatban ismertetett anyagmegtakarítások bővülnek – és némileg módosulnak is.

4. A hulladékfelhasználás gazdaságossága

A nagyolvasztóban a hulladékhasznosítással érintett anyagok közül a helyettesítéssel kiváltott mészke és dolomit a legolcsóbb betétanyagok között található, amelyeknél 10–15-ször drágább az anyagcsere szintén érintett kokszpor és a kohókoksz. A hulladékok általában helyben képződnek, fuvar költségük is csekély, az ásványi mészke és dolomit pedig általában más régiókból kerül a kohóműbe, ezért a továbbiakban a bekerülési árakkal számolunk.

A veszélyes hulladékokat a lerakóművek kilogrammonként kb. 100 Ft-ért veszik át. Egy kezelési engedéllyel rendelkező nagyolvasztómű által felkínált 40 Ft/kg-os átvételi ár nyilván versenyképes lehetne a lerakóművekkel szemben.

Esetünkben olyan rendszer gazdaságosságát vizsgáljuk, melyben olcsó – a speciális nagyolvasztói követelményeknek is megfelelő – hulladékokkal nyomon követhetjük a salakképzőket és a tüzelőanyagokat

4. táblázat. Az egyes hulladékok kohósításának az anyagcseréből származó részleges ráfordítása és megtakarítása (Ft/kg_{hulladék}). Megjegyzés: a negatív előjel kiadás

Anyagok	Mészke	Dolomit	Kokszpor	Koksz	Eredő érték
Egységár (Ft/kg)	7,0	7,0	60,0	90,0	–
Eternit	4,7	–1,7	–2,4	–10,8	–10,2
Szórt azbeszt	–12,6	13,9	0,6	–16,2	–14,3
Üveg	–5,7	–4,3	–6,0	–27,9	–43,9
Magnezittégla	–23,0	38,9	0,0	0,0	15,9

érintő betétköltség változásokat. Ebben a rendszerben az adott hulladéokra vonatkozó gazdasági megtakarítások forrásait az egységárak, a hulladék-cserearányok, az energiamegtakarítások és a termelt többletsalak értékesítése képezik.

A vizsgált esetben vas- vagy vasoxid-tartalmú hulladék nem szerepel a választékban, ezért a redukációs hatások állandónak tekinthetők. A megtakarított összes koksz a fűtőkoksz funkcióból származik.

Az árakat illetően nem tekinthetünk el az adott gazdasági viszonyoktól és az egyébként már kialakult árviszonyoktól. Ebben a tekintetben döntő a hulladékok szokásos ártalmatlanítási díja. A másik fontos tényező a hulladékok anyagi értéke, amely egyébként nem azonos a hulladék forgalmi árával. A nagyolvasztómű számára fontos érték a hulladék kohósítási ráfordításait és előnyeit tükrözi a beszerzési árával párhuzamosan. Az érték kifejezésére megfelel az átvételi küszöbár, mely azt a maximális kínálati árat jelenti, amelynél a hulladék felhasználása a nagyolvasztómű számára éppen nullszaldós. A tényleges átvételi ár és a küszöbár különbsége a fajlagos haszon.

A továbbiakban megvizsgáljuk a hulladékok nagyolvasztói felhasználása során a kohósítással elérhető megtakarítást azon árviszonyok mellett, amikor az átvételi ár a hulladék ártalmatlanítási díja, a belső hulladék ára 5 Ft/kg, a kokszpor és kohókoksz 60, ill. 90 Ft/kg, a termelt salakot pedig 10 Ft/kg áron értékesítik. Az erre vonatkozó részeredményeket a 4. táblázat mutatja.

A 4. táblázatban az egyes költségtételeket a 3. táblázatban szereplő megtakarítások és a 4. táblázat első sorában feltüntetett egységárak szorzatából képeztük. Ahogy látszik, az eternit-, azbeszt- és az üveghulladék csere-ráfordítás egyenértékeinek szaldója negatív. Ezen anyagok kohósítása a részleges értékelés szerint ráfizetéssel járna. Egyedül a magnezittégla hulladéknak kohósítása kecséget hozna.

A továbbiakban a nettó csereegyenértékekre alapozott értékelést egészítjük ki a termelt salak értékesítéséből származó árbevétellel és a hulladékok átvételi árával. Az 5. táblázatban közölt végleges adatok szerint a hulladékhasznosítás végleges (eredő) haszna erősen függ a hulladék minősítésétől, mivel a veszélyes hulladék magas átvételi díja jelentősen javítani tudja a kohósítás gazdaságosságát. Amennyiben a veszélyes hulladéknak minősülő azbeszthulladékok átvételi árát az ártalmatlanítási díjban határozzuk meg, az egyéb hulladékokét kb. 5 Ft/kg-ban, akkor az 5. táblázatban található bruttó kohósítási haszonnal számolhatunk. Az adatokból látszik, hogy a vizsgált négy hulladékból, három haszonnal ártalmatlanítható a nyervegyártás körülményei között, a fajlagos anyag- és energiaráfordítás alapján becsülve.

A táblázat utolsó oszlopa arról tanúskodik, hogy a vizsgált hulladékok nagy része jelentős haszonnal lenne kohósítható. A veszélyes hulladékok közül a haszon nagy részét az átvételi díj biztosítaná. Az acélműi szférában keletkező nem veszélyes hulladéknak

5. táblázat. Az egyes hulladékok kohósításának teljes haszna (Ft/kg). A negatív érték veszteséget jelent

Hulladék	Anyagcsere értéke	Többletsalak értéke	Átvétel díja	Eredő haszon
Eternit	–10,2	7,2	40	37,0
Szórt azbeszt	–14,3	11,0	40	36,7
Üveg*	–43,9	19,0	40	15,1
Üveg**	–43,9	19,0	5	–20,0
Magnezittégla	16,0	0,00	–5	11,0

* veszélyes hulladék; ** normál hulladék

számító magnezittégla, pl. 5 Ft/kg belső előkészítési ráfordítás mellett is gazdaságosan dolgozható fel.

A nagy SiO₂-tartalmú normál üveghulladék csak veszteséggel lenne kohósítható, melynek szaldója kb. 20 Ft/kg átvételi ár esetén lenne közel nullszaldós. Ilyen mértékű dotáció veszélyes üveghulladékok kohósításakor fordulhatna elő, mint pl. vegyszeres öblös-üvegek vagy szélvédők esetén [3].

A nagy CaO- és MgO-tartalmú azbeszthulladékok jelentős haszonnal dolgozhatók fel, még a szokásosnál alacsonyabb átvételi ár mellett is.

Megállapítható, hogy mind a négy hulladék eredményesen reciklálható a termelési folyamatba. A reciklálás a legelfogadottabb szóhasználat szerint a hulladék közvetlen visszavezetése hasznosításra, a keletkezés helyére vagy a termelés valamely más, a hulladék eredetétől eltérő területére [4].

Az eljárás a hulladékkezelési eljárásoknak az *anyagában történő hasznosítás* kezelési kategóriájába esik, mely a hulladékfeldolgozási piramis fejlettebb formái közé tartozik, szemben a jelenleg alkalmazott lerakással. Az anyagában történő hasznosítás során a hulladéknak meghatározzák a jól azonosítható komponenseit, és a hulladék hasznosításával kinyerik belőle azokat az anyagokat, amelyeket új termékek előállításához használnak fel. Esetünkben az azbeszt hasznos komponensei biztosítják a nagyolvasztósalak szükséges összetételét. Ez az új termék a nagyolvasztósalak, a nyersvasgyártás mellékterméke, melyből granulált formában főleg cement készül, salakkő formában pedig utak, gátak elkészítéséhez használható. Az ajánlott technológia egyáltalán nem tekinthető hígításnak, mivel ebben az esetben nem a kibocsátási határértékek kijátszásáról van szó, hanem nyersanyagok együttes adagolásáról.

Az OHT szerint a kb. 2030-ig kitartó azbesztmentesítési terv évente 100 000 t azbeszthulladék lerakásával számol. Ez a tömeg a jelenlegi salakmennyiség 1/4-ét teszi ki. Az ebből származó többletbevétel évente kb. 5 Mrd Ft lenne. Az átolvasztás alatt az azbeszt már 700 °C körül elveszti speciális molekuláris szerkezetét és beolvad az alapsalakba [2].

A vertikumban képződő és veszélyes hulladéknak nem számító elhasznált magnezittégla kohósítása szintén igen jövedelmező. A felhasználáshoz szükséges előkészítés egyszerű aprításból és osztályozásból áll. A fokozott felhasználás egyedüli gátja az, hogy éves szinten kevés a rendelkezésre álló téglahulladék.

5. Összefoglaló

Az Európa különböző térségeiben ciklikusan megjelenő dekonjunkturális időszakok alkalmával a kohászati üzemeknek célszerű lenne áttekinteniük azokat a hulladékokat, melyeket hasznosítási célból időszakosan a munkarendjükbe illesztve javíthatnák rentabilitá-

sukat. A külön vagy együtt adagolással feldolgozott hulladékok termelésbe iktatása megőrzi a berendezés hőállapotát, megakadályozhatja az elbocsátásokat és fedezheti a rezsiköltségeket.

Figyelembe véve az ország gazdasági helyzetét, hulladékgazdálkodási céljait és az egyes régiók adottságait, a nagyolvasztókban történő, hulladékfeldolgozás is igen perspektivikusnak ígérkezik, mivel a kb. 6000 t/nap alapanyag-igényű, nagy termelékenységű berendezésekben még 1–2% feldolgozási arány is napi 60–120 tonna, azaz évi 20–40 ezer t anyag potenciális ártalmatlanítását tenné lehetővé. Ennek kihasználása mintegy évi 0,7–1,4 Mrd Ft többletbevétel biztosítása csak az azbesztféleségek hasznosításával. Összehasonlításképpen a dorogi és a győri hulladékégetőművek éves kapacitása a porokból, iszapokból, szilárd és folyékony hulladékok veszélyes és nem veszélyes anyagok teljes listájából 50 ezer t, ill. 10 ezer t.

A termikus berendezésekkel jól felszerelt kohászati vállalatok szakemberei általában tartózkodnak a hulladékok hasznosításától – rossz beidegződés alapján ez számukra idegen anyag. Hazánkban a hulladékkezeléssel foglalkozó vállalatok zöme begyűjtéssel és lerakással foglalkozik. Az anyagában hasznosítást végző vállalatok száma kevés, jó néhányuktól megvonták a működési engedélyt is. Ilyen körülmények között nem véletlen, hogy legfontosabb hulladékok vagy elhasznált termékek maradékanyagai a hazai feldolgozás helyett külföldre vagy a hulladéklerakóba kerülnek. Ezek elsősorban értékes fémeket tartalmaznak.

A kohászat lehetőségei tehát sok esetben lehetőséget kínálnak a hulladékok anyagában történő hasznosításra a megfelelő hulladékmenedzsment rendszer kialakítása után. Ez utóbbi szervezet feladata a meglévő termikus berendezés adottságaihoz illeszkedő hulladékféleségek kiválasztása, feldolgozásuk műszaki-gazdasági elemzése.

A már meglévő kohászati berendezések feleslegessé teszik pl. a költséges új égetőművek megépítését vagy hulladékártalok kialakítását. Ezért célszerű lenne, hogy a kohászat vagy a kohászati módszerek és a hulladékgazdálkodás nemzetgazdasági szinten is találkozzanak. Tanácsos akár a nagyolvasztóművek, akár az acélművek számára áttekinteni a számukra kedvező különleges anyagokat és azok közül a műszaki-gazdaságilag legkedvezőbbeket bevonni a gazdálkodási körükbe.

IRODALOM

- [1] Hanvai Zsombor: Azbeszt szakmai tájékoztató füzet. Magyar Azbesztmentesítők Szövetsége
- [2] II. OHT, 2013, p. 181
- [3] Loacker árlista
- [4] https://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Ujrafeld_.htm