

VASKOHÁSZAT ÉS KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁS

Sziklavári János

okl. kohómérnök, az MTA doktora, s. egyetemi tanár

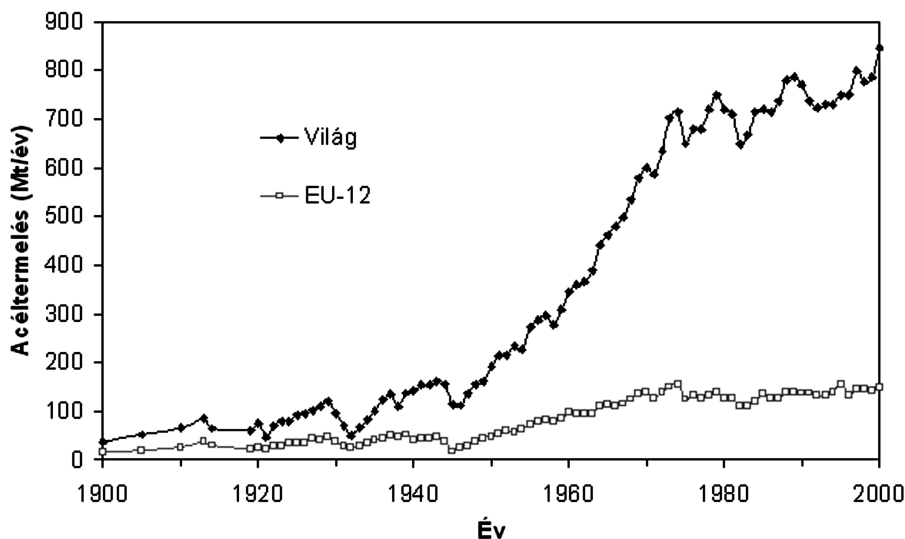
Az acél a 20. század uralkodó szerkezeti- és szerszámanyaga volt, és a 21. század is az acél fölényével köszöntött be. Az utóbbi 100 esztendő alatt a világ acéltermelő teljesítménye több mint hússzorosára növekedett: az 1900. évi 37 millió tonnáról a 2000. évi 847 millió tonnára. Közben alapvetően megváltozott az acélgyártás és képlékeny alakítás technológiája. A változások a század második felében ugrásszerűen következtek be: 2000-ben már másként gyártják az acélt, mint 1950-ben gyártották, és tömegességére vonatkoztatva kevesebb nyersanyag és energia felhasználásával, huszadrésznyi élőmunka-ráfordítással jobb teljesítőképességű acélokat kap a társadalom, miközben a vas-

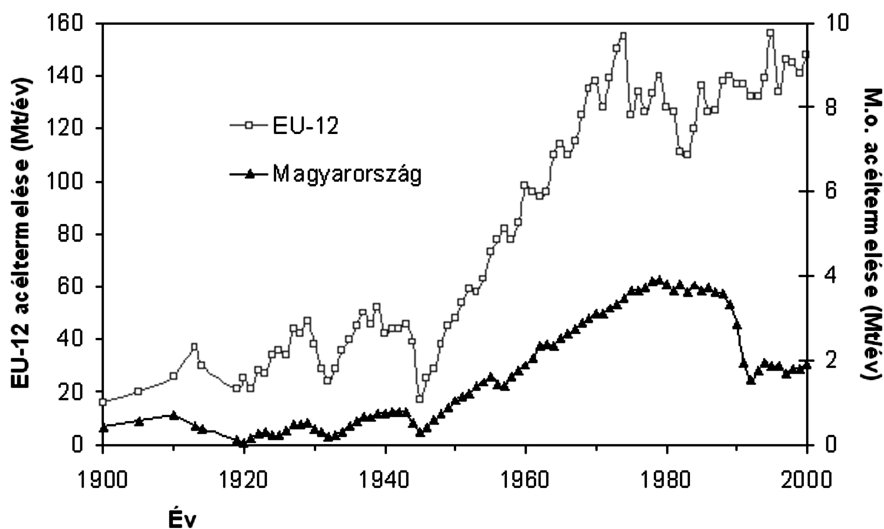
kohászat termelő, gazdálkodó és fejlesztő tevékenységében egyaránt kiemelt szerepet kap a környezetgazdálkodás.

A világ acéltermelése a 20. században

Az 1. ábra felső görbéje a teljes 20. századra mutatja a világ összesített acéltermelésének alakulását. Kirajzolódik rajta a század elejének egyenletes fejlődése, az első világháború, az 1930-as évek nagy gazdasági válsága, a második világháború, valamint a háborút követő 20 esztendő gyors gazdasági fejlődése (a tudományos és technikai forradalom eredménye). Láthatók az utóbbi negyedszázad energiaválságai, a technológiaváltásokkal, szerkezetváltásokkal járó nehézségek (a '70-es és

1. ábra





2. ábra

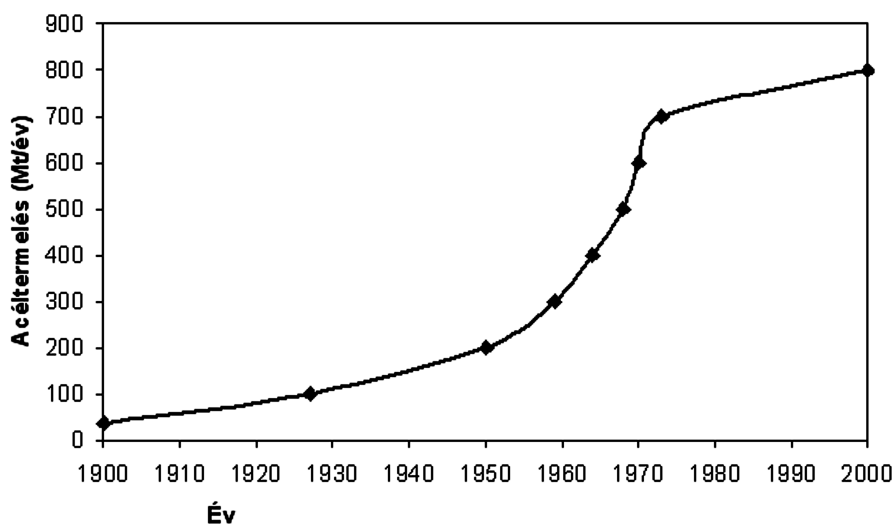
'80-as években), a szocialista országok gazdasági összeomlása (a '90-es évek elején), végül az ázsiai országok gyors fejlődése (a '90-es évek második felében).

Az alsó görbe az EU-12 acéltermelését követi. A '80-as évek végéig ez is magán viseli mindazon események nyomait, amelyek a világ termelését is alakították. A két görbe összehasonlítása azonban azt is tükrözi, hogy míg a 20. század első felében Nyugat-Európa egynegyedét adta a világ termelésének, a század végén már az ötödét sem. A nyugat-európai acéltermelés üteme a második világháborút követő 20–25 esztendőben nem követte a világ gyors fejlődését, a század utolsó negyedében pedig – kisebb hullámmal – változatlan az acéltermelés szintje.

A 2. ábrán a bal oldali tengely az EU-12, a jobb oldali Magyarország acéltermelését mutatja. Magyarországot 25-szörös nagyítású, hogy a két görbe futásának hasonlósága és eltérése jobban megmutatkozzon. A 20. század elején Magyarország acéltermelése is egyenletesen fejlődött. Ezt az első világháború és Trianon megtörte, de súlyos veszteségei ellenére 1929-ben több mint 500 ezer

tonna acél termelésével hazánk megelőzte Hollandiát, a dél-amerikai országokat, Kínát, Ausztráliát, s kerekén kétszer annyit állított elő, mint Norvégia, Románia, Finnország és Jugoszlávia együttvéve. Ezt követően a magyar acéltermelés görbéjén is megjelenik a '30-as évek válsága, a második világháború, az azt követő fejlődés – noha arányaiban kisebb mértékben (benne 1956–57-es megtorpanással). Feltűnő a két görbe futása közti különbség a '70-es és a '80-as években és természetesen a '90-es években is. Az EU-12 vaskohászata előbb megszenvedte a két súlyos energiaválságot (a '70-es és a '80-as évek elején), majd jórészt végrehajtotta az arra reagáló, mélyreható – a gazdaságosságot és versenyképességet javító – szerkezetváltást. A magyar gazdaságban az energiaválság nem indított el hasonló reakciót, ezért vaskohászatunk – noha indokolt lett volna – nem vállalkozott alapvető szerkezetváltásra. Ez a mulasztás a '90-es években megnehezítette a belső gazdasági problémák miatt amúgy is válságba jutott hazai vaskohászat helyzetét.

A 3. ábra évi 100 millió tonna növekménylépcsőkkel vázolja a világ 20. századi acéltermelését. 1927-ben érte el az évi 100



3. ábra

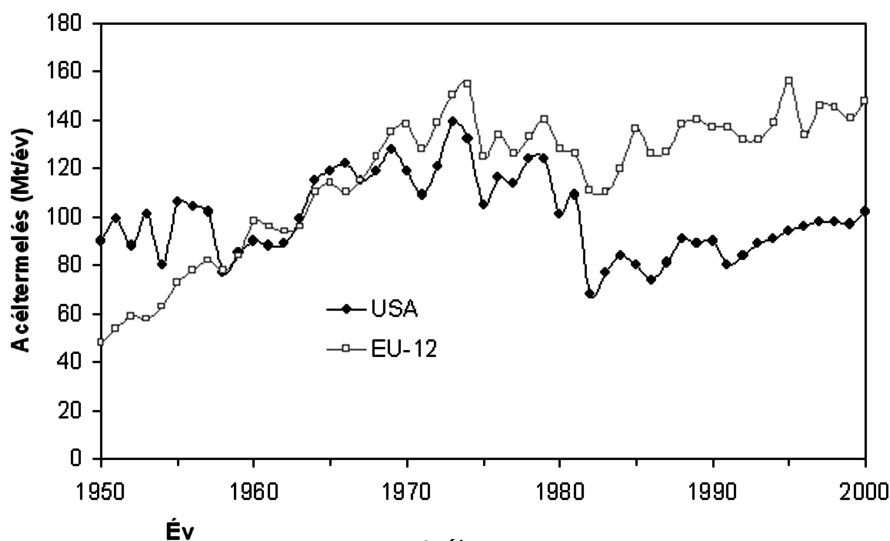
millió, 1975-ben az évi 700 millió tonnát. A görbén kirajzolódik három – a termelés növekedésének sebességében egymástól eltérő – szakasz. Amennyire bámulatos az 1951 és 1973 közötti gyors növekedés, olyannyira meglepő lehet, hogy a század utolsó negyedében az acéltermelés fejlődésének üteme alig érte el a század első felének ütemét.

A század második felében az acéltermelés alakulása gazdasági régióként eltérő volt. Az Egyesült Államok az 1950-es évek elején, jól hasznosítva acéliparában a haditechnika adta műszaki lehetőségeket gyorsan növelte termelését, és nagyban hozzájárult a nyugat-európai vaskohászat újjáépítéséhez is: Nyugat-Európa a háborúban megmaradt (1945/46 évi) 20–25 millió tonnás termelési szintjét 1960-ig megnégyszerezte. Ezekben az évtizedekben mind az amerikai, mind a nyugat-európai vaskohászat a háború előtti technológiák nagyobb befogadóképességű berendezéseivel fejlődött. Ezek létjogosultsága azonban csak az első energiaválságig maradt meg.

Már az 1960-as években új technológiák bontakoztak ki: martinkemencék helyett energiatakarékos és többszörösen (8-szor–

10-szer) nagyobb teljesítményű oxigénos konverterek, nagy villamos teljesítményű ívkemencék, blokköntés helyett 20 %-kal nagyobb anyagkihozatalú folyamatosöntés, nagy teljesítményű, jól szabályozható folyótálagos meleghengerek, jobb használati tulajdonságú termékekkel. Az energiaválság felgyorsította az új technológiákra való áttérést. A technológiaváltás azonban nemcsak hatalmas beruházási költségekkel járt, hanem a régi technológiájú üzemek százainak bezárásával és a termelés csökkenésével is.

Az Egyesült Államok acéltermelésének nagy arányú – 1973 és 1982 között a felére – csökkenése (4. ábra) az acélipar átrendeződésének és szerkezetátalakításának a következménye, miközben kevésbé sietteték a leállított acélművek pótlását. Acéltermelés még 2000-ben is csupán $\frac{1}{4}$ -e az 1973. évinek, és alig több mint 50 évvel korábban volt. Nagyobb súlyt helyeztek az acélimportra: ez évről évre nőtt, 1978-ban már csaknem 19, 1985-ben 22, 1998-ban 38 millió tonna. Az EU-12 acéltermelése is csak 25 év múltán érte el korábbi termelési szintjét (4. ábra), de már csak feleannyi nagyolvasztóval és konverterrel.



4. ábra

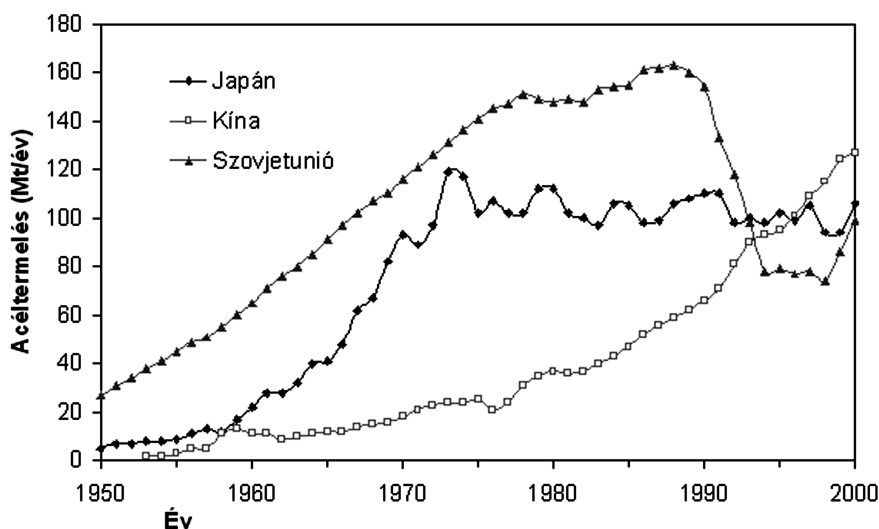
Az 5. ábra Japán, Szovjetunió és Kína acétermelésének alakulását mutatja be. Japán 1960-ig nem játszott jelentős szerepet a világ acétermelésében. Azután viszont új technológiákkal építette ki vaskohászátát. A progresszív technológiákkal és termelésének az élvonalba való gyors felzárkóztatásával bámulatba ejtette a világot. 1965 és 1970 között (5 év alatt) acétermelését évi 41 millió tonnáról 93 millió tonnára növelte. Az energiaválságot azonban a japán acélipar is megérezte, de ez elsősorban külső körülményekkel függött össze.

A Szovjetunió acélipara az 1960-as években Japánét megközelítő intenzitással fejlődött, de technológiáit zömmel a háború előtti eljárásokra (martinkemencékre és tuskóöntésre) alapozta. Az energiaválság sem kényszerítette ki a technológiaváltást, ez megmutatkozott a technológiák arányában: 1980-ban Japánban már nem, Nyugat-Európában egy-két üzemben dolgoztak martinkemencék, miközben a Szovjetunióban még 85 millió (!) tonna martinacélt termelnek; a kihozatal javító folyamatosöntés aránya Japánban 60 %, Nyugat-Európában 40 %, a Szovjetunióban csupán 10 %. A SzU-t a második

olajválság is „megkímélte”, acétermelése 1989-ig – a gazdasági rendszer összeomlásáig – még növekedett. Ezután 4 év leforgása alatt a felére csökkent. Hasonló sorsra jutottak az európai KGST-országok is. A Független Államok Közösségének (elsősorban Oroszországnak) vaskohászata a 90-es évek közepétől intenzív technológiaváltással fejlődik.

Időközben (ahogy mondani szokás: a kertek alatt lopódkodva) Kína vaskohászati világhatalommá nőtte ki magát. 1996 óta a világ 1. számú acétermelője, évi 100 millió tonnát meghaladó termeléssel. Kína az utóbbi 10 évben csaknem 80 millió tonna teljesítményű modern konverter-, ugyanannyi folyamatosöntő- és hengerlőkapacitást épített ki. Elsősorban Kínának köszönhető, hogy az utóbbi 10–12 évben Ázsia részaránya a világ acétermelésében 30 %-ról 40 %-ra, –felhasználásban 34 %-ról 44 %-ra nőtt.

A magyar vaskohászat az 1980-as években a diósgyőri kombinált acélmű és a dunaújvárosi konverteres acélmű beruházásával megkezdte ugyan a technológiaváltást, de ez Diósgyőrben megrekedt; a képlékeny alakítás korszerűsítésére és az általános szerkezetátalakításra (termelési, termelékenység-



5. ábra

gi és termékszerkezeti racionalizálásra) nem került sor. Elmaradt a technológiaváltás a csepeli acélműben és csőgyárban, elmaradt Diósgyőr és Ózd összehangolt szerkezetátalakítása, profilmegosztása, hengersoraik korszerűsítése és a továbbfeldolgozás fejlesztése. A kohászati üzemek drágán termeltek, és a termékek minőségi választéka a nyugat-európai színvonalhoz viszonyítva meglehetősen szegényes volt. S mivel az országnak nem volt szüksége a termelt – évi 3,6 millió tonna – acélra, annak mintegy 40 %-át exportálni kellett, jelentős veszteséggel.

A '90-es években Dunaújváros ha lassan is, de továbblépett a szerkezetátalakításban; a továbbfeldolgozás (hideghengerlés, acél-szerkezetgyártás, radiátorgyártás) fokozatos bővítésével és jól szervezett marketinggel külső piacon tudta értékesíteni a belső piacon feleslegessé vált termékeit, s így talpon tudott maradni. A csepeli és a két borsodi üzemnek ilyen adottságai nem voltak. Csepel vaskohászata elsovadt. A borsodi gyárak veszteségeinek pótlására az egymást követő kormányok sok 10 milliárd forintot fordítottak, de a veszteségeket megszüntető fejlesztésekre és szerkezetátalakításra gyakorlatilag

semmit; ez utóbbit privatizációtól várták. A keserves (és részben titkosított) privatizációk azonban nem javítottak a műszaki-technológiai állapotokon, sőt a két borsodi gyárat hamarosan működésképtelenné tették. 2001-ben mindkét üzem privát tulajdon, a diósgyőri háromszori, az ózdi kétszeri tulajdonosváltás után.

2000-ben a hazai vaskohászat 1,9 millió tonna acélt termelt. Ez Közép-Kelet-Európa termelésének 5,9 %-a, az EU-15 termelésének csaknem 1,2 %-a. Az egy főre jutó acéltermék-felhasználásunk kb. 150 kg, ami harmada az EU-15 átlagának, és megfelel az egész világot magában foglaló átlagnak.

*

Az utóbbi negyedszázad eseményei alapján egyesek a vaskohászatot hanyatló ipárgának, mások válságágazatnak tartják. A valóság az, hogy e két és fél évtizedben a világ vezető vaskohászata a metallurgia, a képlékeny alakítás, a fémtan (és az anyagtudomány más ágai) területének kutatási eredményeit célszerűen alkalmazva, a számítógépes folyamatvezérlés késlekedés nélküli beiktatásával messzi távlatokra kiható magas műszaki és

technológiai felkészültségre tett szert. Eközben a fogyasztói társadalommal és a természeti környezettel való kapcsolatai is alapvető változáson mentek keresztül. Mindez rendkívüli körülmények között: fejlődésre alkalmatlan acélgyárak csődjével, vállalatok összevonásával, egyesülésével, több millió munkahely megszűnésével és a termelés hullámszáásával történt.

Végző soron ezek az átalakulások a társadalom előnyére szolgáltak, hiszen pl. ma már 1000 kg folyékony acélból 900 kg készárut hengerelnek a korábbi 700 kg-mal szemben. 1000 kg készáru gyártására ma 15-20 GJ energiát kell fordítani, korábban 25-30 GJ-t, s noha egzakt mérőszámmal nem mérhető, de egyértelmű, hogy az acél használati tulajdonságainak javulása, pl. a szilárdság, a folyáshatár, a kifáradási határ, a dinamikus erőhatásokkal és korrózióval szembeni ellenállóképesség, a kopásállóság és a hőállóság növelése tették és teszik lehetővé könnyebb, kevesebb acélt igénylő, nagyobb teljesítményű vagy tartósabb gépek, járművek, épületek, berendezések, szerszámok és eszközök gyártását. Eközben a vaskohászat közeledik ahhoz a célhoz is, hogy természetbarát technológiá legyen.

Az acéltermelés alaptéchnológiái a 20. század végén

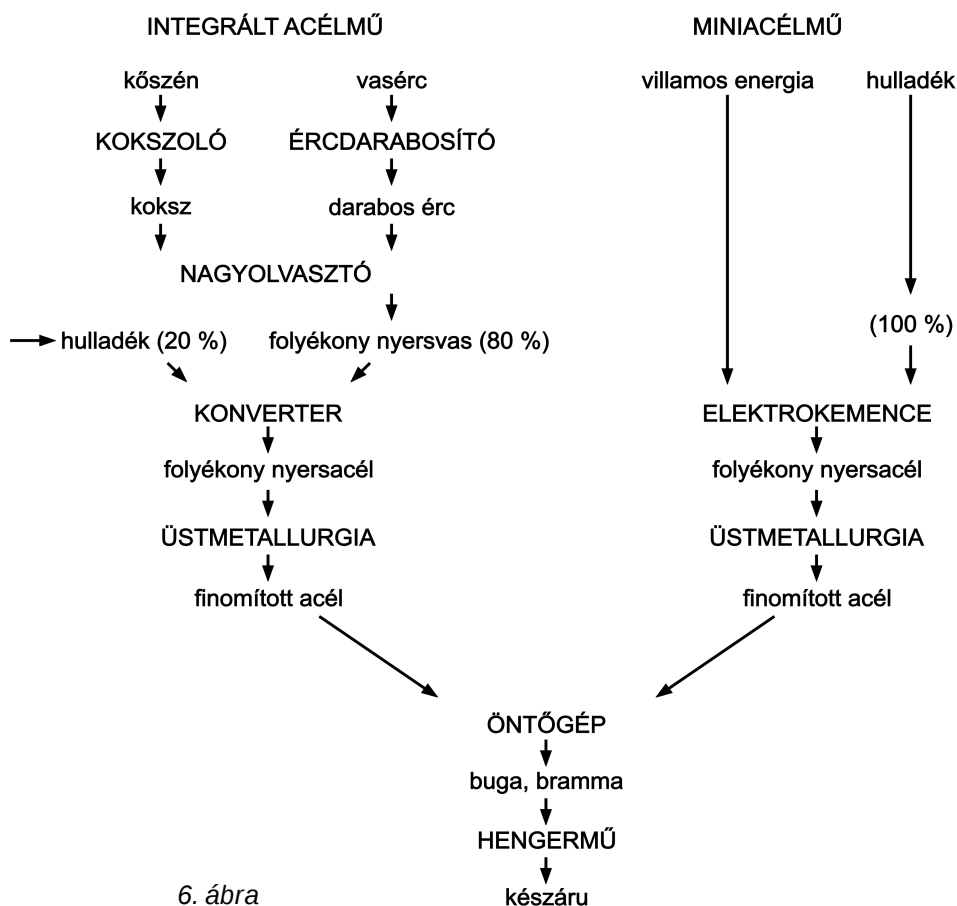
A vaskohászat technológiájának a század végére két stabil termelési változata alakult ki: az *integrált acélmű* és a *mini acélmű*. Kialakulásuk történeti háttere viszonylag rövid.

Fél évszázaddal ezelőtt a világ acéltermelésének 75 %-át martinkemencék adták. Fémбетétjükben a nyersvas mellett a hulladék aránya 40–60 %, esetenként – a hulladék elérhetőségétől függően – még több is volt. A martinkemencék a vas- és acélhulladékok újrafelhasználásával fontos társadalmi-gazdasági feladatot láttak el. Ennek jelentőségét elsősorban az adja, hogy a hulladékban a vas

(ferrum) fémes állapotban van jelen, míg a természetben előforduló vasércből csak természetes energiaráfordítással nyerhető fémes vas (nyersvas). A 100 éven át uralkodó robusztus építményű, sok és nehéz (ártalmas) emberi munkával kiszolgált martinkemencéket a műszaki fejlődés túlhaladta: az 1960-as évektől kezdtek kiszorítani az oxigénes konverterek. A konverterek viszont csak 20–25 % hulladékot képesek bedolgozni, ezért elektrokemencékre hárult az a feladat, hogy átvegyék a martinkemencéktől a hulladékfeldolgozó szerepét. Az elektrokemencében ugyanis akár 100 % hulladék is beolvasztható, mert a szükséges mennyiségű energia betáplálható; konverterben viszont a 75-80 % folyékony nyersvas kémiai energiája csupán 20-25 % hulladék beolvasztására elegendő, külön energiabetáplálást pedig rendszerint nem alkalmaznak.

A hulladék újrahasznosításával az elektrokemencék új feladatot is kaptak; korábban ugyanis az ötvözt- és nemesacélok gyártásában voltak nélkülözhetetlenek. A hulladékbázisú elektroacél olcsóbb, mint a konverteracél, mivel a hulladék – még a megolvasztás energiaköltségét is számításba véve – olcsóbb, mint a folyékony nyersvas. Ezt kihasználandó, az 1970-es években az USA-ban néhány száz ezer tonna hengereltáru termelésre olyan regionális üzemeket építettek ki, amelyekben hulladékból és ócskavasból elektrokemencében gyártották a kereskedelmi acélokat. A viszonylag kis kapacitás miatt az ilyen vertikumnak a *mini-mill*, *miniacélmű* nevet adták. Velük szemben *integrált acélmű* néven emlegetik a nagyolvasztós-konverteres acélműveket. A két metallurgiai változat alaptéchnológiája közti különbségeket vázolja a 6. ábra.

Az ábra érzékelteti a miniacélművek előnyeit: nincs gondjuk a kokszyártással (vagy vásárlással), az ércdarabosítással, a nagyolvasztót kiszolgáló bonyolult adagoló-, forrószél- és gázrendszerrel. Mindezek egyenként



6. ábra

is a környezetet leginkább szennyező vaskohászati technológiák. A miniacélművek mellett szól az anyagátfutás rövid ideje, az egyszerű, jól áttekinthető szervezet. Az 1000 kg acélra vonatkoztatott energiafelhasználásuk pedig 70-75 %-kal kevesebb.

A folyamatosan keletkező vas- és acélhulladék terheli a környezetet, de már 200 éve fontos nyersanyagforrása az acélgyártásnak. Így csoportosítják őket: *saját hulladék* a kohászati üzemben belül (acélműben, hengerterműben és kovácsműben, vas- és acélöntődéekben) keletkezik; *új (visszatérő) hulladék* a feldolgozóiparból visszaszállított munkálási hulladék (végdarabok, forgácsok); *régi (amortizációs) hulladék* (ócska-

vas) a leselejtezett gépek, járművek, mérnöki létesítmények és berendezések begyűjtött vas- és acél alkatrészei, továbbá háztartási edények, készülékek és felszedett rozsdás vasdarabok összesajtolat bálázott tömegei. E hulladékok értéke és kereskedelmi ára természetesen különböző: legértékesebb a saját hulladék, legolcsóbb a begyűjtött vegyes hulladék és a bálázott ócskavas.

Az acéltermeléshez felhasznált összes hulladék az utóbbi 25 esztendőben évi 300 és 400 millió tonna között változott. A saját hulladék aránya az összes hulladékon belül – a gyártástechnológiák fejlesztése folytán – csökken, s egyidejűleg növekszik a vegyes hulladék aránya. Kétségtelen, hogy az olcsó,

begyűjtött hulladék és ócskavas felhasználása gazdaságos és csábító, de a minőségi acélok gyártásához korlátokba ütközik. Ezek ugyanis tartalmazhatnak ötvözőelemeket, lehetnek köztük festett, zománcozott, horganyzott, órozott, műanyaggal bevont, rozsdás és szennyezett felületű darabok, és keveredhetnek közéjük réz, alumínium, ólom, cink, műanyag vagy kerámia darabok.

Az acélgártás fizikai–kémiai folyamatainak köszönhető, hogy a réz, a nikkel és a molibdén kivételével mindenféle gyakoribb ötvözőelemet és idegen anyagot eltávolítanak salak, gáz vagy szállópor alakjában, azok tehát nem szennyeznek az acélt. A réz, a nikkel, és a molibdén ún. maradóelemek, mert a gyártás mai technológiájával az acélból nem távolíthatók el (nem oxidálhatók ki). A Zn, a Pb, a K_2O , a Na_2O elgőzölgésével és kondenzációjával okoz zavart, a SO_2 , a Cl, a F és a dioxin/furán viszont az emisszióhatárok betartását nehezítik.

A legtöbb kárt a réz okozhatja, mert az acélban marad, s ha a réztartalom nagyobb a megengedettnél, akkor termelési programot kell változtatni, és viselni kell a programszerűtlenség gazdasági következményeit. Az acélok (főként a lemezacélok) minősége érdekében a megengedett réztartalmat erősen korlátozzák (pl. a melegen hengerelt szalagban 0,12 %-ra, a hidegen hengerelt szalagban 0,06 %-ra), a vegyes hulladék réztartalma azonban 0,2–0,3 %, sőt gyakran még ennél is több.

Komoly minőségi és gazdasági probléma, hogy az ezredfordulón a gyakorlati acélok csaknem 70 %-ának korlátozzák a réztartalmát, és ez az arány növekvőben van, miközben tartós marad a begyűjtött vegyes ócskavas arányának növekedése, mert a begyűjtés gazdaság- és környezetpolitikai megfontolásból világszerte egyre intenzívebb. 2000-ben a világ acélműveiben felhasznált összes hulladéknak már mintegy fele (!) begyűjtésből származott. A hulladék-

forrás ilyen alakulása az acélműveket mind nehezebb helyzetbe hozza. Elsősorban az elektrokemencéket, hiszen a hulladék 70–72 %-át elektrokemencében dolgozzák fel.

A réz ellen – ez idő szerint – úgy védekeznek, hogy az acéladag fémes betétjében csökkentik a vegyes hulladék arányát, és a réztartalmat vagy drágább válogatott, rézszegény hulladékkal, vagy a maradóelemektől csaknem mentes nyersvassal és vasszivaccsal hígítják. A drágább betét nyilván növeli az önköltségeket, de a minőség érdekében elkerülhetetlen.

A Dunai Vasmű munkatársa írja, hogy náluk a réztartalom az adagok 43 %-ában a meghúzott határ (0,06 %) felett van: „Egyes kényes, hideghengerlésre szánt acélok elsődleges megvalósulása (program szerinti gyártása) a magas szennyezőtartalom (Cu, Cr, Ni) miatt nem éri el az 50 %-ot. Az alacsony megvalósulás növelte a költségeket, csúszásokat okozott a továbbfeldolgozó fázis munkájában, végül a rendelést nem lehetett teljesíteni... A megoldási lehetőségek közül nem tehetjük meg a legkézenfekvőbbet (a folyékony nyersvas részarányának növelését), mellyel sok gyártó biztosítani tudja fémes betétjének tisztaságát. Ez a DUNAFERR esetében egyértelműen a volumen csökkenéséhez, a gazdaságos működőképesség veszélyeztetéséhez vezetne.” (Ez utóbbi mondat utalás arra, hogy a Dunai Vasműben viszonylag kevés a nyersvas, ezért a termelés mennyiségi szintjének megtartása érdekében minél több acélhulladék felhasználására van szükség.)

A diósgyőri és ózdi elektroacélmű minőségi programja a réz miatt még nehezebb helyzetben van. Náluk 2000-ben a feldolgozott összes hulladék kétharmada begyűjtésből származó, rézzel szennyezett acél volt. A hígításhoz vasszivacs itthon nincs (sőt Oroszország kivételével gyakorlatilag Európában sincs), nyersvasat nálunk már csak Dunaújvárosban termelnek, de az a mennyi-

ség nekik sem elég. A vasszivacs- vagy nyersvasellátás megoldásáig a hazai hulladékforgalmazók és acélművek közös feladata a biztonságos hulladékválogatás és osztályozás megszervezése.

Egyrészt a hulladék kedvező ára és igen gazdaságos feldolgozhatósága, másrészt a vele járó – maradékelemek okozta – minőségi problémák mérlegelése számos országban befolyásolja a vaskohászat távlati fejlesztését is. Alapvető feladat a gyártandó program minőségi megalapozása, ezért el kell dönteni, hogy az acélgyártás alapanyaga nyersvas, vasszivacs vagy hulladék, ill. ezek milyen arányú keveréke legyen. Ha a termék minősége a betét tisztaságának (első sorban réztartalmának) függvénye, akkor nyersvas- vagy vasszivacs-bázisra kell építeni. Európában, Észak-Amerikában és Kelet-Ázsiában egyaránt napirenden levő kérdés, hogy a fejlesztés az integrált acélművek vagy a miniacélművek irányába haladjon-e tovább. Ez különösen a 2 millió tonna körüli kapacitású üzemek esetében fogas kérdés. A nagyobb acélművek integrált vertikumot választanak (általában kokszoló nélkül), mert az gazdaságosabb, és a nyersvas teljes minőségi biztonságot nyújt. A kisebbek számára a vasszivacsos miniacélmű adhat biztonságot. A hulladékbázisú miniacélmű sokkal gazdaságosabb, de minőségi programja a hígító vasszivacs vagy nyersvas beszerezhetőségének függvénye. Egyre több *integrált miniacélművet* építenek, ezek saját kohóban termelt folyékony nyersvas birtokában választanak elektrokemencét. A fejlődés szülöttei az olyan nagy acélművek is, amelyek alapvertikuma integrált konverteres üzem, de a hulladék feldolgozására elektrokemencét is létesítenek. Kétségtelen, hogy a betétanyag (nyersvas és hulladék) és így a gyártási program tekintetében a legrugalmasabbak a modern *kombinált acélművek*, amelyek azonos befogadóképességű konverterrel és elektrokemencével vannak felszerelve; ezek

kiszolgáló és adagoló létesítményei egységesek az adagoló és a csapoló oldalon, illetve az üstkemencéknél és öntőgépeknél. (Ilyen volt a meglevő nagyolvasztókhoz csatlakozó 80 tonnás konverterrel és 80 tonnás elektrokemencével 1980-ban üzembe helyezett, de 1997-ben leszerelt diósgyőri kombinált acélmű.)

A miniacélművek és a kombinált acélművek terjedése, továbbá az elektrokemencéknek a betéttel szembeni nagy rugalmassága egyaránt hozzájárult az elektroacéltérmeles növekedéséhez: 1970-ben a világtermelésben az elektroacél aránya csak 14 % volt, 2000-ben már 34 %.

*

A ma már egyetlen hazai integrált acélmű, a kokszolóüzemtől a hideghengerműig kiépült dunaiújvárosi vaskohászat műszaki mutatói az 1980-as évek óta folyamatosan javulnak, és várhatóan további fejlődése sem szakad meg. Az évi 1,5 millió tonnás kapacitás azonban túlságosan kicsi ahhoz, hogy hosszabb távon is versenyben maradjon a többszörösen nagyobb kapacitású európai integrált acélművekkel. Ezért nem zárható ki, hogy középtávon a vertikumban részleges technológiaváltásra lesz szükség.

A diósgyőri 1 millió tonnás kombinált acélmű – amelynek acélgyártó részlege (konverter-elektrokemence-vákuumos üstkemence-öntőgép) Európa egyik legmodernebb minőségi potenciáljával bírt – tragikus körülmények között, a 90-es évek második feléig fokozatosan 400 ezer tonnás hulladékbázisú miniacélművé zsugorodott. Az ugyancsak 1 millió tonnás ózdi integrált acélmű a 90-es évek elején omlott össze, s csak az ezredfordulóra épült ki ugyancsak 400 ezer tonnás, hulladékbázisú miniacélművé. A két borsodi acélmű termékei túlnyomórészt azonosak, emiatt a szűk hazai piacért nemcsak az olcsó keleti importtal állnak harcban, de gyakran egymással is.

A vaskohászat és a természet

Georgius Agricola 1556-ban kiadott, a fémeokról írt könyvében kitér arra, hogy a bányászat (és a kohászat) ellenzői a következőket hánytorgatják fel: „A bányászok kutatómunkái megbolygatják és tönkreteszik a termőföldet. A bányaeépítkezés, a gépek és kohók miatt egész erdőket és ligeteket tarolnak le, mert a bánya rengeteg fát nyel el. Az erdőirtások következtében kipusztulnak a madarak és olyan állatok, amelyeknek húsa az emberi táplálkozást szolgálja. Mivel az ércet mossák, és ezzel megmérgezik a folyók és patakok vizét, megölik vagy elűzik a halakat. Látható mindebből, hogy a bányászat (és kohászat) által érintett vidékek lakosai a szántóföldek, erdők, ligetek kipusztítása és a folyóvizek megrontása következtében csak nehezen juthatnak élelemhez, s a fahiány miatt az építkezések nagyon megdrágulnak. Világos tehát, hogy a bányászat több kárt okoz, mint amennyi hasznot hoz az ércet kibányászása (és feldolgozása).” De *Agricola* írta azt is, hogy „fémek nélkül az ember szörnyű és silány életet élne a vadállatok között.”

Az ipari fejlődés figyelmen kívül hagyta a 16. század természetvédőinek aggályait, miközben egyre több és több fémet igényelt. Most viszont több száz év múltán a – már az emberiség jövőjét fenyegető – szennyezésnek a természetvédelmi törvények emelnek gátakat.

A tudomány feladata, hogy a természetrombolás és az egyetemes fejlődés optimális egyensúlyának feltételeit feltárja, a technika feladata viszont az, hogy e feltételeket megteremtse. Kétségtelen, hogy az együttműködésben a technikai lemaradása a tudományos ismeretek mögött meglehetősen nagy. Ennek oka a túlzott nyereségszemlélet, a szűklátókörűség, a közömbösség, sőt az ismeretek hiánya. A természetet kímélő technológiák és berendezések létesítésének

akadályai közé pedig első helyre az anyagi forrás hiányát teszik, noha legtöbbször kimutatható – még ha nem is számszerűsíthető – hogy a hiányos technika a társadalomnak nagyobb kárt okoz, mint amennyibe a megfelelő létesítmények kerülnének.

A technikának előbb-utóbb fel kell zárkóznia; eleget kell tennie a természetvédelem indokolt követelményeinek: az anyagok és energiák célszerű megválasztásával és felhasználásával, a természeti és gazdasági követelmények egyensúlyának az előkészítő és termelő folyamatokban való fenntartásával. Ennek kell alárendelni a termékek tulajdonságait, a hulladék- és melléktermék-gazdálkodást, számításba véve az elhasznált (amortizációs) vagy elfekvő anyagokat is.

Az egyetemes vaskohászat az ezredfordulóra elérte, hogy műszakilag már képes megfelelni e követelményeknek. A vaskohászati környezetgazdálkodás azon a szemléleten alapszik, hogy a kohászati tevékenység a természet és a társadalom közti kétirányú kapcsolat, amelyben a természet ajándékából, a vasércből acélt termel a társadalom javára, s e közben közreműködik a társadalom természet iránti kötelezettségeinek teljesítésében. A környezetgazdálkodás tehát nemcsak környezetvédelem, nemcsak a környezet megóvása a kohászati folyamatok káros mellékhatásaitól, hanem aktív részvétel a természetet szolgáló ipari tevékenységekben, amelyekhez a kohászat technológiai segítséget nyújthat.

Az acélipar jellemzője és technológiai erőssége az anyagok körforgása. A fogyasztókkal együttműködve újra feldolgozza az elhasznált vas- és acéltermékeket (az amortizált hulladékot): 1 tonna vashulladék felhasználásával 1,5 tonna vasércet és 0,5 tonna fűtőanyagot (szenet, kokszot, olajat) takarít meg, és 1 tonnával kevesebb szén-dioxiddal terheli a légkört.

Belső körforgásban használja fel a vizet. 1960-ban 1 tonna acél gyártásához 150 m³

vízre volt szükség, és az jobbára többé-kevésbé szennyezve hagyta el a gyárat, 2000-ben már csak 30 m³ víz szükséges ugyanarra a célra, de tisztítás után ennek is 80-90 %-a visszatér a rendszerbe.

A koksizológamrákban és a metallurgiai folyamatokban keletkező éghető gázokat felfogják, tisztítják és fűtőanyagként vezetik vissza a körforgásba. Hasznosítják a füstgázok érzékelhető hőjét. Az eredmény az energia egy részének megtakarításában mutatkozik meg. Körforgásban hasznosul a felfogott reve és a fáradtolaj. A természettel közös körforgás része a salakgazdálkodás: az ércek meddője, továbbá a salakképző mészkö, bauxit, dolomit és magnezit a természet ajándéka, ezeket a vaskohászat salakból készült salakkő, ipari kőzet, ipari ásvány formájában szolgáltatja vissza utak, gátak, autópályák, vasutak építéséhez, cementgyártáshoz, betonkészítéshez, építmények falazásához és termőtalajok javításához. A vaskohászati (nagyolvasztói és acélműi) salakok tömege a termelt acél 35-45 %-át (!) teszik ki. Például 2000-ben több mint 300 millió tonna salak keletkezett, s ennek túlnyomó hányadát (a fejlett országokban 95-100 %-át) hasznosították, megkímélve a természetet ugyanannyi kőzet és ásvány kitermelésétől.

Természetesen nem minden salak alkalmas minden célra. Ahogy a folyékony salakok különböző metallurgiai folyamatokban, más-más fizikai és kémiai feladatokat végeznek el, úgy megszilárdulva is különböző tulajdonságokra tesznek szert. Ezt a felhasználás folyamán figyelembe kell venni. A lecsapott salakok összetétele még folyékony állapotban adalékokkal módosítható a tervezett felhasználásnak megfelelően, illetve szabályozható a megszilárdulás folyamata. Utókezelésre is sor kerülhet annak érdekében, hogy a felhasználás területén a salak tökéletesen helyettesíthessen valamilyen természetes kőzetet vagy ásványt. A fejlett ipari országokban salakszabványok sora követeli

meg a megfelelő fizikai és kémiai tulajdonságokat és az építési célt szolgáló térfogati stabilitást.

A nagyolvasztók salakjainak legkedveltebb felhasználási területe a cementgyártás: vegyi összetételüktől függően szolgálhatnak a klinkergyártás nyersanyagaként, cementkiegészítő hidrauliként vagy lehetnek inert cementkiegészítők. 1 millió tonna kohósalak hidrauliként 1,5 millió tonna mészkövet helyettesít; ezen kívül megtakarít 120 ezer tonna kőszén és csaknem 1 millió tonna CO₂-ot. A cementgyárak évente 50-60 millió tonna kohósalakot használnak fel.

Cementgyártás céljára megfelelhetnek a konverter- és elektrosalakok is. Az elektrosalakok cementipari felhasználása terjedőben van, hiszen számos országban egyáltalán nem vagy alig keletkezik nagyolvasztósalak, elektroacélmű és cementgyár viszont van. (Ez a helyzet Észak-Magyarországon is.)

A nem stabilizált és a toxikológiai követelményeknek is megfelelő bázikus acélsalak-örlemények javítják a savanyú talajokat, helyettesítik a meszesedő céljára bányászott örlött mészkövet. (Sőt: a salakok kalciumszilikátjában kötött CaO hatása jobban érvényesül, mint a mészkö kalcium-karbonátjában kötött CaO.) A bázikus salakok elősegítik a nitrifikációt, porózus tulajdonságuknál fogva lazítják a tömör talajt, javítják annak vízvezetési és levegőzési tulajdonságait; és valójában salaktrágyák is, mert kisebb-nagyobb arányban növényi tápanyagokat: magnéziumot, foszfort, ként, nitrogént is tartalmaznak, és számos növényi mikroelemnek számító alkotójuk van. Bármely tápanyaggal keverhetők és kiszórhatók.

A vaskohászati salakok radioaktivitása nem haladja meg a megengedett határértéket. Több fejlett országban ezt ellenőrzik is. A salakokban természetesen dioxinok sincsenek, hiszen 1400 °C-nál magasabb hőmérsékleten képződnek, s eközben az összes szerves anyag elbomlik.

A salakok könnyen értékesíthetők, ezzel szemben az acélművek füstgáztisztítójában felfogott porok (por vagy iszap alakban) jóformán csak gyáron belül hasznosíthatók. Sajnos, cinktartalmuk legtöbbször ezt is nehezíti, néha pedig megakadályozza. A cink a vashulladékkal jut a konverterbe és elektrokemencébe, onnan a füstgázzal oxidok alakjában távozik, és a gáztisztítóban felfogott vastartalmú szállóporban gyűlik össze. Ha ezt a szállóport – vaskinyerés céljából – visszajaratják, akkor a rendszerben a cink feldúsul (akár 15-30 %-ra is), és technológiai problémákat okoz. A nagyolvasztóban különösen káros, emiatt a legtöbb országban korlátozzák az elegy cinktartalmát. Főként a cink rovására írható, hogy a világviszonylatban keletkező 35-40 millió tonna pornak és iszapnak alig felét járátják vissza, inkább depóniára viszik. A cink okozta problémák a hulladékbazisú elektroacélművekben a leg súlyosabbak, mert ott a szállópor cinktartalma visszajáratás nélkül is elérheti a 20-35 %-ot, emiatt már eleve veszélyes hulladék.

Technikailag megvannak a lehetőségei a szállóporok és iszapok cinktelenítésének, de ezek költséges beruházásokkal valósíthatók meg; megtérülésük a kezelendő anyag mennyiségén kívül függ a deponálás költségétől is. Utóbbi a fejlettebb országokban igen magas, ezért számos nagyüzemet szereltek fel cinktelenítővel. Ennek köszönhetően a szállópornak és az iszapnak 80-90 %-át hasznosítják, sőt tervek készülnek a zero waste (hulladékmentes), 100 %-os újrahasznosítást jelentő technológiák kialakítására.

A cinktelenítésre többféle pirometallurgiai és hidrometallurgiai eljárás alkalmaznak. Zömmel direktredukciós technológiák, amelyek mind a vasat, mind a cinket redukálják. A termék jó minőségű vasszivacs; a cink (ha van ólom, akkor az is) elgőzölög, és szállópor alakjában felfogható. E por cinktartalma 50-60 %-ot is elérheti, azaz alkalmas fémkohászati feldolgozásra. A depóniákban halmo-

zódó, évenként 10-15 millió tonnával gyarapodó cinktartalmú por és iszap a gazdaságnak veszteség, a környezetre pedig káros, ezért hasznosítása ma a vaskohászat egyik legsürgetőbb feladata, és érthető, hogy vas- és fémkohászati kutatások kiemelt témaköre.

*

Az acélipar nemcsak magát igyekszik megtisztítani, újabban közreműködik a műanyag hulladékok felhasználásában is. A nagyolvasztókban a forrószéllal befuvattatott aprított műanyag hulladék elgázosodik, és redukáló gázként hasznosul az olvasztó aknájában. A műanyagok elemaránya ugyanis viszonylag közel van a redukáló szénéhez és olajéhoz. Nagyobb hidrogéntartalmánál fogva elsősorban az olajat helyettesíti 1:1 arányban; kisebb kéntartalmánál fogva előnyösebb is. Hátránya viszont, hogy több hamut ad, és nagyobb a klórtartalma. Németországban több nagyolvasztóba fuvatnak műanyag hulladékok; ez idő szerint 100 kg nyersvasra számítva 35 kg-ot. A japán kohóüzemekben most kezdik a műanyagbefúvást.

A nagy japán acélművek a nagyolvasztótechnológiát városi finomhulladékok feldolgozó berendezések kialakítására is alkalmazzák. A nagyolvasztóhoz hasonló kokszágyas, aknás kemence lényegében pirolízises elgázosító és olvasztó, oxigént injektáló lándzsákkal és folyamatos salakcsapolással. Az elszívott 2000 kcal/m³(N) energiatartalmú dioxinmentes gáz és salak értékesíthető. A kisebb kohók naponta 60-70, a nagyobbak 250-300 tonna hulladékot dolgoznak fel.

*

A vaskohászat csak lassan léphet előre a CO₂-emisszió csökkentésében, pedig az üvegházhatást okozó gázok kétharmadát a szén-dioxid teszi ki. A kibocsátott összes szén-dioxid feléért az energetika és a közlekedés felelős; az ipar egynegyedért. Ez utóbbinak túlnyomó hányada a vaskohászat rovására írható.

A vaskohászat a szén-dioxidot a ma még nélkülözhetetlen C-alapú redukciók folyamán, továbbá fosszilis tüzelőanyagok elégetése során emittálja. E tekintetben meghatározó technológiai fázis az acélgégyártás; a szén-dioxid mennyisége leginkább attól függ, hogy az acélttermeléshez milyen alapanyagokat használnak fel:

1 t nyersvas (mint alapanyag)	1,8-1,9 t;
1 t vasszivacs	" 1,1-1,2 t;
1 t fémhulladék	" 0,45-0,5 t
CO ₂ -ot emittál.	

2000-ben az acélgégyártás csaknem 1,3 milliárd tonna szén-dioxidot bocsátott ki!

Az oxigénes konverterek fémes betét-anya ga 75-80 % nyersvas és 25-20 % hulladék. Az elektrokemencéké világátlagban 85 % hulladék, 15 % vasszivacs és nyersvas. A CO₂-kibocsátás csökkentése (és a gazdaságosság is) az acélműveket a lehető legnagyobb arányú hulladékfelhasználásra ösztönzi. E téren az elektroacélművek vannak legelőnyösebb helyzetben. Javukra szolgál az a tény is, hogy a vasszivacstermelés gyorsan fejlődik, és egyre könnyebb nyersvasat helyettesítő vasszivacshoz jutni.

Az elektroacélgégyártás CO₂-kibocsátásában természetesen számításba kell venni, hogy a felhasznált villamosenergia termelése mennyi CO₂ felszabadulásával jár. Nem mindegy, hogy az erőmű milyen energiával és mekkora hatásfokkal termeli az áramot. Ez az ún. ESI-index (Electric Supply Industry), amely az 1 GJ-nak megfelelő villamosenergia termelésékor keletkező CO₂-ot adja meg kg-ban. 1995-ben pl. így alakult néhány ország éves átlaga:

Franciaország	23 kg CO ₂ /GJ
Olaszország	146 kg CO ₂ /GJ
Egyesült Királyság	156 kg CO ₂ /GJ
Németország	196 kg CO ₂ /GJ

Az elektroacélgégyártás fejlesztése tehát Németországban (a szénbázisú erőművek

miatt) kevésbé javítja a CO₂ kibocsátást, mint Franciaországban (a nukleáris erőműveknek köszönhetően). Olaszországban a vízierőműveknek, az Egyesült Királyságban a földgázos erőműveknek tudható be a kedvezőbb ESI-index.

A fosszilis energiahordozók elégetésekor keletkező CO₂ arányai:

földgáz : olaj : szén = 1 : 1,67 : (1,8-2,2)

Ez az összefüggés érvényes az erőművekre és természetesen a vaskohászati folyamatokra is. Az elektrokemencékbe hőtermelés céljából befúvatott földgázzal, olajjal vagy szénrel villamosenergia takarítható meg, egyidejűleg kevesebb a kumulált CO₂-kibocsátás is. A nagyolvasztókba befúvott fosszilis tüzelőanyagokkal a kokszt egy része helyettesíthető, és ez ugyancsak CO₂-megtakarítással jár.

Az az általános érvényű összefüggés, amely szerint a CO₂-emisszió csökkentésének ma még leghatékonyabb módszere az energiamegtakarítás, a vaskohászatban igen jelentős eredményeket tud felmutatni, de közvetve emissziócsökkentéssel járnak az anyagkihozatal javítását, új, hatékonyabb technológiák bevezetését és az acélok tulajdonságait javító fejlesztések is.

Példaként említhető a fejlesztési forrásokkal folyamatosan ellátott, s így a hatékony innováció nyújtotta lehetőségeket jól kihasználó német vaskohászat eredményessége. Ott az 1 tonna hengereltárura vonatkoztatott CO₂-emisszió 1960 és 1996 között 3,99 tonnáról 1,88 tonnára csökkent. Intenzív fejlesztéssel további csökkenés prognosztizálható (az energetikában is), és ez alátámasztja, hogy a Kiotói Egyezményt aláírva Németország nem alaptalanul vállalta, hogy 2008-2012-re az 1990. évi CO₂-egyenértéket (1214 Mt) 21 %-kal csökkenti.

Az egyetemes vaskohászat a CO₂-emisszió tekintetében mindaddig csak evo-

lúciós fejlődésről adhat számot, amíg a technológiája szénbázisra épül; ugrásszerűen javuló eredmények csak a hidrogéntől várhatók. Példaképpen vizsgálható az 1 tonna melegen hengerelt szalagtekercs gyártására vonatkoztatott CO₂-emisszió alakulása:

velését és a gazdaságosságot szolgáló innovációkkal. A század utolsó negyedében a fejlődést a termelés szerkezetének átalakítása jellemezte: martinkemencék kiváltása konverterekkel és/vagy elektrokemencékkel, a tuskóöntés és a tuskóhengerlés kiváltása

	integrált acélműben	miniacélműben
rövid távlatban és jelenleg	2,100 tonna	0,460 tonna (erőműi hatásfok 35%)
közép távlatban	1,800 tonna	0,275 tonna (erőműi hatásfok 45%)
ma még nem belátható hosszú távlatban	0	0

A fentiek technológiai kiegészítéseképpen:

rövid és közép távlatban

redukció: C-bázison (egyszerűsítve: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{CO} \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{CO}_2$)

hőtermelés: C-bázison (fosszilis tüzelőanyaggal)

hosszú-hosszú távlatban

redukció: H₂-bázison (egyszerűsítve: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{Fe} + 3 \text{H}_2\text{O}$)

hőtermelés: nem C-bázison termelt villamosenergiával.

1. táblázat

A magyar vaskohászat környezetgazdálkodása, sajnos, ez idő szerint még a környezetvédelem színvonalának emelésén fáradozik. Üzemeink anyagi erejükhöz mérten évről-évre közelítik az emisszióra és a vízszennyezésre érvényes EU-szinteket, sokat költenek a hulladék kezelésére és deponálására, de hátrányukat – külső támogatás nélkül – belátható időn belül nem tudják behozni. A komplex környezetgazdálkodás kiépítése terén is vannak eredményeik, de az előrehaladást hazai szabványok hiánya és rugalmatlan környezetvédelmi szabályok is akadályozzák. „Hulladékmentes” gazdálkodás kialakítását – nehéz gazdasági helyzetük miatt – egyelőre nem is tervezhetik.

Összefoglalás

A 20. század negyedik negyedében a vaskohászati technológiákban ugrásszerű és evolúciós fejlődéssel alapvető változások következtek be, elsősorban a termelékenység nö-

flyamatosöntő-gépekkel, illetve az irányító és kiszolgáló szervezetek „spártai” egyszerűsítése.

Az acéltermelés gazdasági régiónkénti megoszlása a század második felében alapvetően megváltozott: míg a század közepén az USA és az EU-12 országai együttesen a világtermelés 72 %-át adták, 2000-ben már csak 30 %-át; egyidejűleg Ázsia részesedése 6 %-ról 40 %-ra nőtt.

A hatékony metallurgiai eljárások különböző változataiból máig kialakított konverteres (integrált acélműves), elektrokemencés (miniacélműves) és kombinált technológiai rendszerekkel megfelelően alkalmazkodni lehet az elérhető nyersanyag- és energiaforrásokhoz, valamint a piac minőségi igényeihez; e rendszerek továbbfejleszthetők, ezért jövőjük hosszabb távlatra prognosztizálható.

Két-három évtizeddel ezelőtt a vaskohászat világszerte még fekete és barna füsttel,

porral, gázzal szennyezte a levegőt, és hegyekként magasló salak- és iszaphányókkal terhelte a környezetét. Ma már a füstök áttetszően tiszták, nem nőnek a hegyek, sőt, a régiek is szemmel láthatóan fogyatkoznak. A vaskohászat egyre inkább környezetbarát lesz, környezetgazdálkodást folytat: nemcsak elvesz a természettől, amikor felhasználja az érceket, a szenet, a gázt, az olajat és az ásványokat, hanem a természet javát is szolgálja azzal, hogy hulladékait ipari közetekben és más módon hasznosítja, sőt, más iparágak hulladékait is beépíti termékeibe. Ezzel egyre több kohászati üzem érdemli ki a *zöld* jelzőt.

A magyar vaskohászat a század első felében nemzetközi színvonalú termékekkel látta el a belső és a külső piacot. A második világháború után fejlődése felgyorsult, technológiájával és termékeivel megfelelt a belső

követelményeknek, de a világ fejlődésétől elmaradt. A '80-as években megkezdett szerkezetváltás a '90-es években csak az integrált Dunai Vasműben folytatódott; a diósgyőriben és az ózdiban viszont a tragikus leépülés kényszerítette ki a műszakilag és gazdaságilag egyaránt labilis miniacélmű létrehozását. Vaskohászati üzeink – elegendő anyagi forrás hiányában – a környezetvédelem terén az EU-normákhoz viszonyítva elmaradásban vannak (főként az emissziók tekintetében); helyzetük nagyon nehéz, emellett hiányoznak a környezetgazdálkodást (pl. salakfelhasználást) elősegítő hazai szabványok is.

Kulcsszavak: *vaskohászat, acélgégyártás, integrált acélmű, miniacélmű, környezetvédelem, széndioxid-emisszió, hulladékgazdálkodás*

Irodalom

- Aiming at an Environment-Conscious Steel Works. (2001). Kawasaki Steel Technical Report, **No. 6**.
 Az acélipar válsága. (1994). Magyar Tudomány, **8**.
 CO₂-Emissionen in Deutschland rückläufig. (1999). Stahl und Eisen, **Nr. 11**.
 Comparing carbon-dioxide emission from the steel industry. (1999). Steel Times, **No. 3**.
 De Re Metallica Libri XII. (MDLVI). (1985). A fordítást kiadta: Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület. Műszaki Könyvkiadó Bp.
 Kohósalak felhasználása savanyú talajok javítására. (1984). Stefanovits Pál kézírata
 A New Minimill Concept: Mini Blast Furnace with Shaft EAF/LF/CC. (2001). Iron & Steelmaker, **No. 5**.

- Őszintén a magyar vaskohászatról. (1989). Sorskérdéseink, Akadémiai Kiadó
 Stahlrecycling – Ressourcenproductivität und Umweltschutz. (2000). Stahl und Eisen, **Nr. 7**.
 State of the art of old plastic injection into the blast furnace. (1997). Encosteel Conference, Stockholm
 Steelmakers Develop Waste Treatment Facilities. (2000). Iron & Steelmaker, **No. 6**.
 Steelmaking of the future. (1999). Steel Times, **No. 5**.
 Technológiai lépésváltás Dunaújvárosban. (2001). Hulladéksors, Szakmai Folyóirat, **1–2. sz.**
 Trendek és fejlemények Közép- és Kelet-Európa acéliparában. (2000). Bányászati és Kohászati Lapok, Kohászat, **8**.