

TARDY PÁL

## Az acélipar kihívásai és a kihívásokra adott válaszai

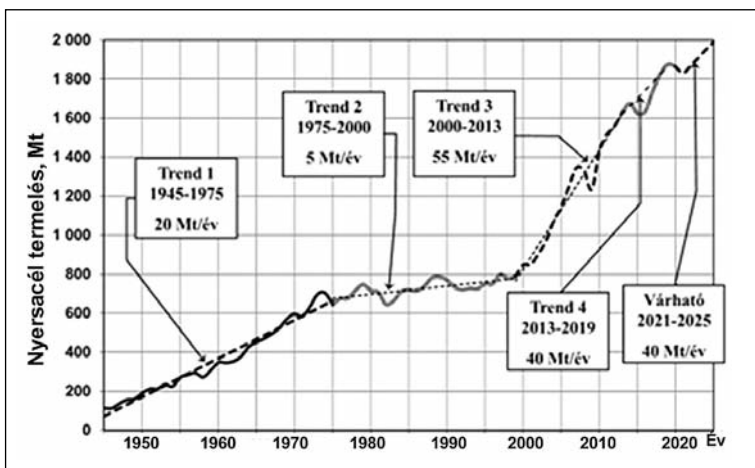
**Az acélipart a 20. század közepe óta különböző kihívások érték. A 2. világháború után az acélfelhasználás jelentősen nőni kezdett; erre a kihívásra az acélipar az integrált acélgyártás bevezetésével válaszolt. Az 1970-es évek közepén a növekedés lelassult. A válasz az elektroacél-gyártás arányának növelése volt, amely rugalmasabban alkalmazható az igények változásakor. Ennek eredményeként az acélhulladék elérhetőségével adódtak problémák. Az új évezred elején a termelés ismét jelentősen nőni kezdett. A növekedést elsősorban integrált acélgyártással érték el. Az utolsó évtizedekben a fenntartható fejlődés eszméje vált uralkodóvá. Ez jelentős igényeket támaszt az acéliparral szemben, amely az egyik legnagyobb energia felhasználó és CO<sub>2</sub>-kibocsátó. A követelmények teljesítése érdekében innovatív megoldásokat kellett kifejleszteni és bevezetni.**

### 1. Bevezetés

A világ acéltermelése 1950 óta közel a tízszeresére nőtt. A növekedés azonban nem volt egyenletes. A kisebb ingadozásokat figyelmen kívül hagyva öt szakaszt lehet megkülönböztetni (1. ábra):

- 1950 és 1975 között évente 20–30 Mt-val nőtt a termelés (~ 5%/év),
- 1975 és 2000 között sokkal lassabb volt a növekedés (~ 1%/év),
- 2000 és 2013 között a növekedés sebessége igen magas volt (~ 6-7%/év),
- 2015-ben rövid időre csökkent a termelés, majd valamivel lassabb szakasz következett (~ 4%/év).
- A 2020 elején kitört világválság hatására visszaesett a termelés; de 2021-től optimista becslések szerint a korábbinak megfelelő évi ~ 4%-os növekedés várható.

Az acélipart minden szakaszban új kihívások érték, amelyekre különböző válaszokat kellett adni. A cikkben röviden áttekintjük a kihívásokat és a válaszokat.



1. ábra. A világ nyersacél termelésének alakulása 1950 óta

### 2. Az acélipar válaszai az első két szakaszban

#### a) Az első növekedési szakasz (1950–1975)

A háború utáni újjáépítés eredményeként az acélfelhasználás rendkívül gyorsan nőtt, és az acéliparnak követnie kellett a mennyiségi igények növekedését. Az 1950-es évek elején a korábban is alkalmazott acélgyártási eljárásokat használták: az acél 90%-a Siemens–Martin-eljárással készült, a többi elektroacél-gyártással. Ebben a szakaszban az acélipar válasza az oxigénes acélgyártás kifejlesztése és gyors terjedése volt. Az új technológia termelékenysége sokkal nagyobb volt az SM-eljárásénál, amit a méretek növelésével, a befűvási eljárások fejlesztésével stb. tovább tudtak növelni. Az 1970-es évek első felében az acéliparban az integrált acélgyártás vált uralkodóvá.

#### b) A második növekedési szakasz (1975–2000)

Az 1970-es évek közepén az olajválság következtében a világgazdaság növekedésében trendváltás következett be. Ennek eredményeképpen az acélfelhasználás növekedése jelentősen lassult, és az előző periódus hatására

kiépült új kapacitások eredményeként felesleges kapacitások alakultak ki. A túltelített acéliparon tipikus árciklusok jelentek meg, az acélárak 20–40%-kal estek, ami súlyos nehézségeket okozott a termelőknek.

A fő kihívás ekkor a vállalatok életképességének megtartása volt: romló piaci körülmények mellett is versenyképesnek kellett maradni. Legfontosabb feladat a termelési költségek csökkentése és a rugalmasság növelése volt, hogy követni tudják a piac gyorsan változó igényeit.

Erre a célra az elektroacél-gyártás sokkal alkalmasabb az integrált acélgyártásnál: kisebbek a beruházási költségek, a termelés csökkentésének költségei is sokkal kisebbek, kisebb az anyag- és energiaigénye. Ennél a technológiánál

a legfontosabb fejlesztési feladatok a következők voltak:

- a termelékenység növelése,
- a termékminőség javítása,
- minden lehetőség kihasználása a költségek csökkentésére,
- a termelés rugalmasságának növelése.

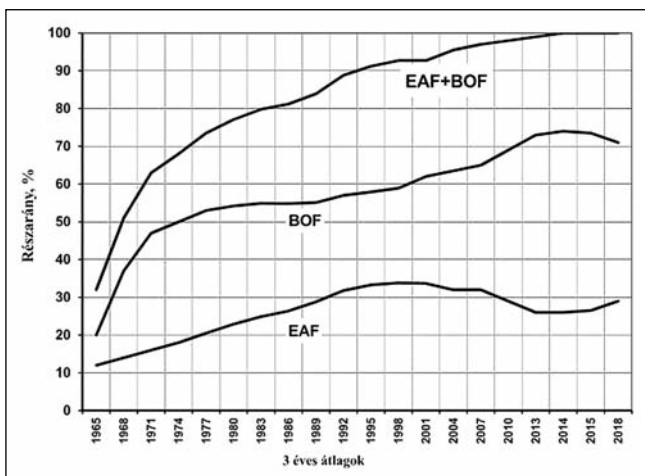
A termelékenységet a berendezések méretének növelésével, oxigénbefúvással, a folyamatok optimalizálásával növelték, különböző minőségjavító módszereket (üstkemencék, különböző üstmetallurgiai eljárások stb.) alkalmazva jelentősen javítani tudták a termékminőséget. Nem tudták azonban az acélhulladékkal bevitt szennyezők egy részét (pl. réz) eltávolítani.

Az előnyök kihasználásának eredményeként az elektroacél-gyártás részaránya jelentősen nőtt ebben a szakaszban: az SM-eljárás kiszorulását az elektroacél-gyártás növekedése ellensúlyozta (2. ábra).

Ennek a szakasznak meghatározó műszaki fejlődése a folyamatos öntés gyors terjedése volt. Ennek eredményeként jelentősen csökkentek a termelési költségek: a kihazatal nőtt, és a melegalakítási műveletek száma csökkent.

**1. táblázat.** Az integrált acélgyártás és az elektroacél-gyártás összehasonlítása

	Integrált acélgyártás	Elektroacél-gyártás
<b>Termelékenység</b>	~ 12 000 t/nap	~ 6000 t /nap
<b>Betétanyag</b>	nyersvas	acélhulladék, DRI
<b>Fajlagos anyagfelhasználás</b>	~ 2 500 kg/t acél (vasérc, koks, mész, acélhulladék)	~ 1 500 kg/t acél (acélhulladék, DRI, mész)
<b>Fajlagos energiaigény</b>	19–24 GJ/t acél	8-10 GJ/t acél
<b>Fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátás</b>	2-2,5 t/t nyersacél	0,4–0,7 t/t nyersacél
<b>Rugalmasság</b>	csekély	jelentős



**2. ábra.** Az oxigénes konverteres (BOF) és az elektroacél-gyártás (EAF) részarányának változása a világ acéliparában

**c) A harmadik növekedési szakasz (2000–2013)**

Az ezredforduló táján az acélfelhasználás és ennek megfelelően az acéltermelés korábban nem tapasztalt gyors növekedésnek indult; a növekedés gyorsabb volt, mint az 1950-es és '60-as években. Lényeges különbség azonban, hogy a növekedési ütemet az első szakaszban a fejlett országok diktálták, 2000 óta pedig Kína, amely akkor még fejlődő ország volt. A növekedés üteme a 2008-2009-es

gazdasági válság idején megtört; ez azonban rövid ideig tartott, és a fejlett országokat sokkal jobban érintette, mint a fejlődőket.

A globális acéltermelés 2000 és 2013 között csaknem kétszeresére nőtt (850 Mt-ról 1560 Mt-ra). A növekedésben Kína volt meghatározó: nyersacél-termelése 131 Mt-ról 822 Mt-ra, azaz 690 Mt-val nőtt.

Ebben a szakaszban az első szakaszhoz hasonlóan a termelési volumen növelése volt a legfontosabb. Az acéliparnak azonban új kihívásokkal is szembe kellett néznie:

- biztonságos betétanyag-ellátás,
- a környezetterhelés csökkentése,
- a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentése (klímavédelem).

A termelés erőteljes növeléséhez Kínában az integrált acélgyártás lehetőségeit használták ki.

A 2. ábrán a két alaptermék arányának változását mutatjuk be 1950 óta. Az első szakaszban (a dinamikus növekedés idején) az integrált acélgyártás részaránya jelentősen nőtt. A második szakaszban (az 1970-es évek közepétől) – elsősorban a nagyobb rugalmassága miatt – az elektroacél-gyártás aránya nőtt, a harmadik szakaszban pedig ismét az integrált acélgyártás fejlődött gyorsabban. Kínában az új gyártókapacitások zöme erre a technológiára épült.

**d) A negyedik szakasz (2013–)**

A negyedik szakasz a termelés rövid visszaesésével indult, majd a korábbihoz hasonló ütemben kezdett nőni. A világválság kitérője 2020-ban ismét csökkenést eredményezett, amit az eddigi jelek és a nemzetközi szakértők szerint lényegében az előző szakasznak megfelelő növekedési ütem fog követni.

**3. Az alapanyag-ellátás helyzetének alakulása**

Az acélipar alapanyag-igénye és a szállítási lehetőségek kb. az ezredfordulóig egyensúlyban voltak. Mivel a földkéregben elérhető vasérc mennyisége sokszorosa az acélipar igényeinek, nem volt akadálya annak, hogy igény szerint növeljék a vasércbányák termelését, így a rohamosan növekvő igényeket is viszonylag könnyen ki tudták elégíteni.

Az acélhulladék esetében más a helyzet. Az acélhulladék nem természeti erőforrás, hanem a korábban gyártott acélból származik. Ennek szükségszerű következménye, hogy az elérhető acélhulladék mennyisége a múltban gyártott (és felhasznált) acél mennyiségétől függ. Szerző a 2000-es évek elején kezdett foglalkozni ezzel a problémakörrel, amikor az elektroacél-gyártás területén nehézségek adódtak az ellátással: a piacon elérhető hulladék mennyisége időről időre kisebb lett az igényeknél. Az elérhető hulladékmennyiség becslésére modellt dolgozott ki, amelyet számos fórumon ismertettek, és a World Steel Association is hosszabb időn keresztül ezt a modellt használta számításainál.

A modell lényege az acélipar vas-mérlege, amely a következőképpen szemléltethető:

$$Fe(\text{nyersacél}) = Fe(\text{betétanyagok}) - Fe(\text{hulladékok, veszteségek, melléktermékek}).$$

Az igényoldal viszonylag egyszerűen számítható a számos nemzetközi szervezetnél elérhető nyersacél, nyersvas és direkt redukált érc (DRI) mennyiségekből.

A keletkező acélhulladék mennyiségének becslése már bonyolultabb feladat. Három fő acélhulladék-típust szokás megkülönböztetni:

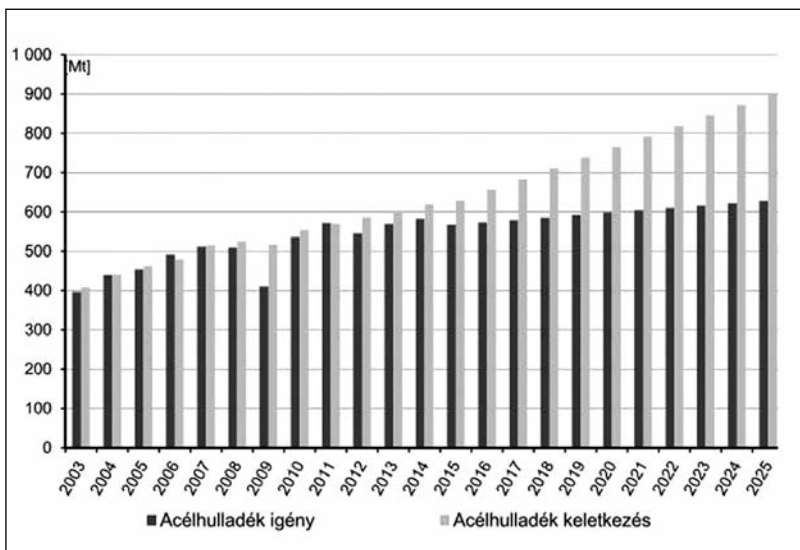
- saját hulladék, amely az acélipari vállalatnál keletkezik a termelés és feldolgozás során,
- új (felhasználói) hulladék, amely az acéltermékeket felhasználó vállalatoknál keletkezik akkor, amikor a szállított acéltermékből kialakítják az általuk használt alkatrészeket,
- régi (amortizációs) hulladék, ami az elhasználandó acélalkatrészekből, szerkezetekből származik.

Az első két hulladéktípus a gyártás során, ill. a felhasználás során a gyártást követően viszonylag rövid időn belül keletkezik, a régi hulladék keletkezésének számításánál azonban figyelembe kell venni a hulladékba került alkatrész, szerkezet élettartamát. A két legfőbb kategória az építőiparban, infrastruktúráknál felhasznált acél és a gépek, járművek előállításánál felhasznált acél. Az előbbieknél 50 éves, az utóbbiaknál 8 éves átlagos élettartamot feltételeztünk. Nemzetközi acélipari szervezetek (elsősorban a World Steel Association és az EUROFER) kiadványaiban az említett célokra felhasznált acél mennyisége is hosszabb időtávra elérhető. Korábbi publikációinkban részletesen ismertettük a számításoknál alkalmazott feltételezéseket és paramétereket [1, 2].

Az ezredforduló előtt mindkét hulladéktípus mennyisége mérsékelten növekedett, majd az ezredforduló körül megindult gyors növekedés eredményeként a járművekből, gépi berendezésekből keletkező hulladék mennyisége egy idő után gyorsan nőni kezdett. Ennek megfelelően a hulladékhiány, ill. szűkös ellátás szakasza után a 2010-es évek elején egyre növekedett az a hulladékmennyiség, amire az acéliparnak változatlan feltételek mellett már nem volt szüksége.

Számszerű becsléseink eredményeit a 3. ábra tartalmazza.

Az ábrán jól látható a 2000-es évek elejének problémá-



■ 3. ábra. A keletkező acélhulladék mennyisége és az acélipar hulladékigényének alakulása

ja: az elérhető hulladék mennyisége alig különbözött az igénytől, sőt esetenként negatívra fordult (ezt az európai miniacélművek megéreztek: nem, vagy csak magas áron tudtak hulladékot vásárolni). A 2010-es évek elején az acél-felhasználás 10 évvel korábban kezdődött dinamikus növekedése már éreztette hatását: a felhasznált acélból készült eszközökből, járművekből egyre több régi hulladék keletkezett, és mivel továbbra is az integrált eljárás volt meghatározó, a keletkező hulladék mennyisége gyorsabban nőtt az igényeknél. Kínában folyamatosan nő a régi hulladék mennyisége, és a feldolgozás korszerűsítésével exportórré válhatott. Egyelőre semmi jele nincs annak, hogy újra hulladék-ellátási problémák alakuljanak ki az acéliparban.

#### 4. A jelen és a jövő fő kihívása: a klímavédelem szigorodása

Napjaink közismert témája a fenntartható fejlődés biztosítása földünkön. Bár a megfogalmazott kritériumok közül több is érinti az acélipart (hulladékhasznosítás, körkörös gazdaság, légszennyezés stb.), a legnagyobb kihívást a klímavédelem jelenti.

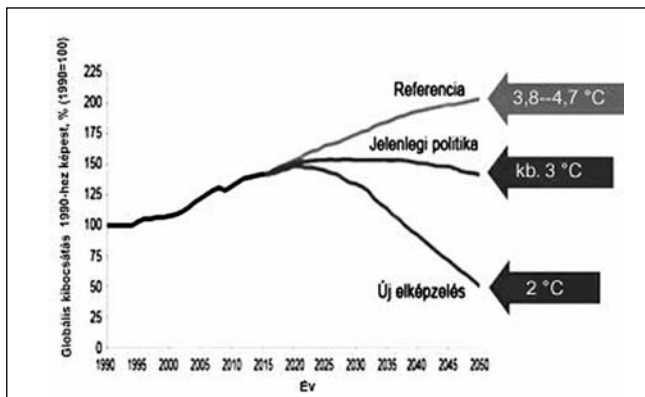
Az éghajlatváltozással foglalkozó kutatók megállapították, hogy a globális felmelegedés hajtóereje az emberi tevékenységből származó CO<sub>2</sub>-kibocsátás, amely a légkörbe kerülve üvegházhatást fejt ki. A Kyotói Protokollt 1992-ben fogalmazták meg, 1997-ben fogadták el és 2005-ben lépett életbe. Az aláíró országok vállalták az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentését. Első szakasza 2008–12-ig tartott. A kibocsátás ennek ellenére tovább növekedett. Az acélipar részaránya a globális kibocsátásban ~ 7%.

A megvalósítás legfontosabb eszközeként az emisszió-kereskedelmet próbálták felhasználni. Az acélipar – mint egyike a nagy kibocsátóknak – erősen érintett ebben a témában. Ennek lényege, hogy a kibocsátók meghatározott mennyiségű CO<sub>2</sub>-kibocsátásra (kvóta) kapnak jogot; az ennél többet kibocsátók kvótákat vásárolhatnak az ennél kevesebbet kibocsátóktól. Ezzel megindult az ún. kvótakereskedelem. Az érzékeny iparágak (köztük az acélipar) az EU-ban a versenyképesség megtartása érdekében ingyenes kvótákat is kaptak. Ezért kevesebb kvótát kellett vásárolniuk, ami csökkentette a költségeiket. A kvótaárak kezdetben magasak voltak, majd meredeken estek. Ennek oka az ingyenes kiosztott kvóták nagy mennyisége, emiatt a piacon túlkínálat alakult ki. A 2012–2020 közötti kereskedelmi periódusban ezt úgy próbálták korrigálni, hogy az érzékeny iparágak esetén a legjobb 10% átlagának megfelelő fajlagos kibocsátásra korlátozták az ingyenes kvóták mennyiségét (benchmark alapú kiosztás), ez azonban nem változtatott a helyzeten: az EU acélipara továbbra is jóval több ingyenes kvótahoz jutott, mint amennyit kibocsátott. Ennek eredményeként az acélipar fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása és energiafelhasználása az elmúlt évtizedben alig változott (2. táblázat).

**2. táblázat.** Az acélipar fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása 2009–2019 között a nyersacélgyártásig

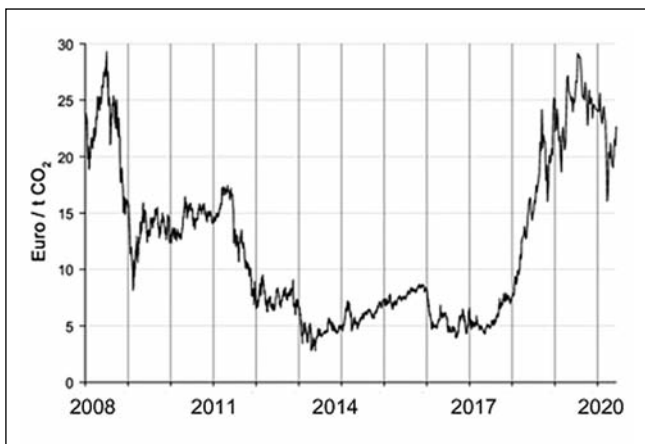
Év	2009	2011	2013	2015	2017	2019
Fajlagos kibocsátás, t CO <sub>2</sub> /t nyersacél	1,81	1,79	1,76	1,82	1,84	1,83

A helyzet ismeretében az ENSZ a Kyotoi Egyezmény módosítását javasolta, amire 2016-ban Párizsban került sor. A fő célkitűzés a globális felmelegedés csökkentése volt úgy, hogy 1990-hez képest 2 °C-nál (sőt lehetőleg 1,5 °C-nál) ne legyen nagyobb a hőmérséklet-növekedés (4. ábra). Az egyezmény nagy visszhangot keltett, számos ország aláírta; nagy hiányossága azonban, hogy nem tartalmaz kötelező érvényű mennyiségi vállalásokat.



**4. ábra.** A tervezett globális hőmérséklet-növekedésekhez szükséges kibocsátások alakulása (1990 = 100%)

A nemzetközi szervezetek erősödő nyomásának hatására az Európai Bizottság a 2020–2030 közötti időszakra határozottabb lépéseket tervezett az emissziókereskedelmi rendszer reformjára, aminek fő eszköze a kvóta egységárak emelése 4-5 €/t-ról 25-35 €/t-ra. A cél elérése érdekében az évenkénti kibocsátáscsökkentést a korábbi 1,74%-ról 2,2%-ra növelték. Ennek hatása a kvótaárra gyorsan érzékelhetővé vált (5. ábra).



**5. ábra.** A kvótaár változása az előírások szigorodása következményeként

Ezt az utat követve a jelenlegi technológiák alkalmazásával az acélipar CO<sub>2</sub>-költségei jelentősen nőnek.

A klímavédelem szigorja, mértéke és költségei között azonban jelentős különbségek vannak az egyes országok, régiók között. A kis ráfordítást alkalmazó, de nagy kibocsátó országok, régiók energiaintenzív termékeinek gyártási költségei emiatt kisebbek, ami méltánytalan versenyelőnyt jelent számukra. Az EU ennek a problémának a kiküszöbölésére 2022 végére tervezi a kiegyenlítő vámrendszer (carbon border adjustment) mechanizmus bevezetését, aminek az a lényege, hogy az ilyen országokból származó acélimporra vámot vetnek ki. Ez ugyan segítséget jelenthet pl. az acélipar számára, de nem oldja meg a globális problémát.

Az acélipar azonban nem térhet ki a nemzetközi szervezetek elvárásai elől, azaz hosszú távú megoldásokat kell kidolgozni az ágazat CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csökkentésére. Az ezirányú kutatások 2004-ben az EU támogatásával indultak meg (ULCOS, Ultra Low Carbon Steelmaking, és azóta számos más projekt is volt, pl. a World Steel Association Climate Action programja: a projekt 2010-ben fejeződött be, de azóta is intenzív munka folyik világszerte).

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2020-ban áttekintést adott az ígéretek eredményekre alapozott fejlesztési módszerekről. Az EUROFER 2019-ben készített „Lehetőségek a CO<sub>2</sub>-semleges európai acélipar eléréséhez” (Pathways to a CO<sub>2</sub>-Neutral European Steel Industry) című dokumentuma összefoglalta az Európában szóba jöhető technikákat.

A legegyszerűbb megoldások a meglévő technológiák módosítására, korszerűsítésére alapozódnak. Mind a BOF, mind az EAF eljárás fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása csökkenthető a folyamatszabályozás fejlesztésével, a betétanyagok célszerű kiválasztásával, a maradék- és hulladék energiák hasznosításával stb. Az így elérhető eredmény azonban nem jelentős az elvárásokhoz képest.

Kézenfekvő megoldás a hulladékarány növelése az acélipar betétanyagaiban, ami elsősorban az elektroacélgyártás részarányának a növelésével érhető el. Mint láttuk, ennek az ezredforduló elején korlátot szabott az elérhető acélhulladék mennyisége. Ez a probléma a kínai acélipar termelésének gyors növekedésével megoldódott: a kínai acéliparban máig az integrált acélgyártás az uralkodó, ami – mint leírtuk – nettó hulladéktermelő. Az elérhető hulladékmennyiség ennek megfelelően dinamikusan nőhet 2050-ig, amikor kb. 1300 Mt prognosztizálható. Ez várhatóan akkor is bőségesen elegendő lesz az acéliparnak.

Az elektroacél részarányának növelését a továbbiakban nem a hulladékkeletkezés, hanem az acélhulladékból előállítható acél szennyezettsége korlátozza. Az amortizációs hulladék ugyanis olyan szennyező elemeket is tartalmaz, amelyek nem, vagy csak nehezen, nagy költségek árán távolíthatók el az acéolvadékból (elsősorban a rézről van szó). A szennyezők jelenléte az acél tulajdonságait is befolyásolja, ami elsősorban a hidegen, ill. melegen hengerelt acéltermékek felhasználóinál okoz gondot. Nagyrészt emiatt az elektroacélgyártás részaránya valószínűleg nem fogja túllépni a 40%-ot.

Az acélgyártás során keletkező gázok (kamragáz, torokgáz, konvertergáz) fizikai és kémiai energiátartalma (CO, CO<sub>2</sub>) hasznosítható villamos erőművek működtetésére.

sénél, ill. bizonyos vegyületek előállításánál (ammónia, metanol).

A nagyolvasztóból történő nyersvasgyártás mellett a direkt redukciós eljárások betétanyaga is vasérc („virgin iron”, „szűz vas”), így az említett szennyezettség problémája nem merül fel. A direkt redukált vasat az elektroacélgyártásnál és a nyersvasgyártásnál is felhasználják. Az elektroacélgyártásnál eredményesen lehet alkalmazni az átlagos szennyezettség csökkentésére (hígítására). 2018-ban kb. 110 direkt redukálóberendezéssel kb. 80 Mt szivacsvasat állítottak elő.

Az acélipar kibocsátásánál figyelembe kell venni azokat a kibocsátásokat is, amelyek a felhasznált anyagok, energiák előállításához szükségesek. Az elektroacélgyártás esetében alapvetően a villamos energia előállítása során keletkezett kibocsátásról van szó. Ez fosszilis energiával működtetett hőerőművek esetében jelentős, megújuló energiákkal működtetett erőművek és atomerőművek esetében elhanyagolható.

A vasérc direkt redukációjához elsősorban földgáz használható, és – ha van rá lehetőség – a nagyolvasztó torokgáz alkalmazása sem zárható ki egyes szakértők szerint. A redukció eredményeként ebben az esetben is CO<sub>2</sub> keletkezik, amit az acélgyártás közvetlen kibocsátásához hozzá kell tenni; a fajlagos kibocsátás az eljárástól függően 15-25%-kal kisebb a hagyományos nyersvasgyártásnál.

A növényekből előállított redukálószer (pl. faszén) esetében a növény növekedése során a levegőben lévő CO<sub>2</sub>-t használja fel, azaz lényegében a szén körforgásáról van szó.

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) szerint a globális célok elérése érdekében az acéliparnak 2050-ig legalább a felére kell csökkenteni a CO<sub>2</sub>-emissziót. Ehhez az acélgyártásnak (a legnagyobb ipari kibocsátó) a 2019. évi 1,4 t CO<sub>2</sub>/t nyersacél értékről 0,6 t CO<sub>2</sub>/t nyersacélra (60%-kal) kell csökkenteni a fajlagos kibocsátást. Elemzéseik során két forgatókönyvet vizsgáltak:

- *STEPS scenario (Stated Development Scenario):* a jelenlegi feltételrendszer mellett a legjobb rendelkezésre álló technológiák alkalmazása.
- *SDS scenario (Sustainable Development Scenario):* a leghatékonyabb, biztos eredményt hozó, sikeres nemzetközi együttműködést feltételező szcenárió.

A 3. táblázat tartalmazza a két szcenárióval elérhető fajlagos energiafelhasználási és CO<sub>2</sub>-kibocsátási adatokat (2019-es tényadatok és a 2030-ra, 2050-re vonatkozó becslések).

A becslések során vizsgált technológiai változatok fajlagos kibocsátási adatait a 4. táblázat tartalmazza.

**3. táblázat.** Az acélipar fajlagos energiafelhasználásának (GJ/t) és CO<sub>2</sub>-kibocsátásának (t CO<sub>2</sub>/t nyersacél) alakulása a két szcenárió alapján

Szcenárió	2019	2030 Steps	2030 SDS	2050 Steps	2050 SDS
Energia-intenzitás GJ/t	18,9	17,9	17,2	16,1	14,8
Fajlagos kibocsátás t CO <sub>2</sub> /t	1,4	1,3	1,2	1,1	0,6

**4. táblázat.** Fajlagos CO<sub>2</sub>-emisszió a szobajöhető acélgyártási módszerek alkalmazása esetében

Eljárás	Fajlagos kibocsátás t CO <sub>2</sub> /t nyersacél	Jellemzés
BOF a legjobb elérhető technikával	1,9	Ismert, meglévő eljárások (20% csökkenés)
BOF biológiai úton készült redukálószerrel	1,1	Ezekkel az anyagokkal helyettesítik a kokszot
BOF + a CO <sub>2</sub> leválasztása és tárolása	0,9	A nagyolvasztóból származó CO <sub>2</sub> leválasztása
Elektroacélgyártás	0,4	Acélhulladék, vagy direkt redukált vas használatával

Eszerint a BOF technológia fejlesztése a legjobb elérhető technikák alkalmazásával 20% körüli csökkentést eredményez. A biológiailag előállított redukálóanyagok (biokoks) alkalmazása és a CO<sub>2</sub>-leválasztás és tárolás már eredményesebb. Amennyiben a gyártás során CO<sub>2</sub>-kibocsátás nélkül előállított villamos energiát használnak, a kibocsátás minimálisra csökken.

A felsorolt megoldások gyakorlati bevezetése természetesen jelentős költségekkel jár. Tisztes verseny az acélpiacon csak akkor lenne lehetséges, ha a klímavédelmi fejlesztésekre költött ráfordítások hasonlóak lennének a globális acélpiaci szereplőknél; ezt beavatkozás nélkül gyakorlatilag kizártnak tarthatjuk. Ilyen körülmények között a kormányzatoknak és az illetékes nemzetközi szervezeteknek kell intézkedéseket hozni ennek a problémának a kiküszöbölésére.

Egy ilyen lehetséges eszköz az EU által már korábban bevezetett kiegyenlítő vám (border adjustment): a kis klímaráfordításokat alkalmazó országokból származó acéltermékek importjára vámot vetnek ki. A vámnak olyan mértékűnek kell lennie, hogy ösztönözze az acélipari vállalatokat a fejlesztésekre.

A klímavédelmi fejlesztések állami vagy nemzetközi szervezetek általi pénzügyi támogatása a fejlesztések költségeit csökkentheti a vállalatoknál; ezt az eszközt is érdemes kihasználni. A témával kapcsolatos K+F munkát szintén támogatni kell.

A kibocsátási kvóták csökkentése és a villamos energia klímavédelemmel kapcsolatos árnövekedésének kompenzálása az érintett vállalatoknál ugyancsak lehetséges eszköz.

Az EU kvótakereskedelmi rendszerének célirányos kialakítása is ösztönözheti a vállalatokat a fejlesztésekre.

Innovatív acélipari vállalatok a jövőre való felkészülés jegyében már a jelenlegi körülmények között is jelentős összegeket fordítanak új, csökkentett kibocsátást eredményező technológiák fejlesztésére. Néhány példa az alábbiakban látható.

- *Aco Verde do Brasil:* 100% faszén használata;
- *Arcelor Mittal Belgium:* a keletkező gázok felhasználása etanolgyártásra;
- *Emirates Steel:* CO<sub>2</sub> tárolása a kimerült olajkutakban;
- *EVRAZ Colorado:* napenergiával termelt villamos energia alkalmazása;

- *HBIS* (a világ egyik legnagyobb acélipari társasága, Kína): 2 Mt kapacitású, hidrogénre alapozott DRI demonstrációs üzemét épít;
- *Nucor (USA)*: szélerőműben előállított villamos energia használata;
- *Tata Steel*: új olvadáskreduktív technológia fejlesztése;
- *ThyssenKrupp* és *Nippon Steel*: kísérletek a H alkalmazására a nagyolvasztóban.

## Összefoglalás

Az acélipar működési feltételeit számos, részben külső, részben belső tényező befolyásolja. Ezek változása az acélipar számára újabb és újabb kihívást jelent, amihez alkalmazkodnia kell.

A dolgozatban 1950-ig visszatekintve elemezzük a kihívásokat és az acélipar válaszait a kihívásokra. Legfontosabb megállapításaink a következők:

1. 1950 és az 1970-es évek közepe között a globális acéligény és ennek megfelelően a nyersacéltermelés is dinamikusan nőtt. Ezt az acélipar a korábbiaknál nagyobb termelékenységgel integrált acélgyártás bevezetésével tudta elérni.
2. Ezt követően, az ezredfordulóig jelentősen lassult a növekedés üteme, ami a rugalmasabb elektroacélgyártás felfutásának kedvezett. Ennek eredményeként egy idő után szűkös lett az acélhulladék elérhetősége.
3. Az ezredfordulón jelentős trendváltás következett be: a termelés növekedése felgyorsult, alapvetően a kínai acélipar látványos fejlődése következtében. Ez ismét az integrált acélgyártás növekedésének kedvezett.
4. Már az ezredforduló előtt megjelentek, majd egyre erősödtek az új elvárások, amelyek közül a fenntartható fejlődés, elsősorban a klímavédelem előtérbe kerülése jelentett új kihívást. Meghatározó feladat lett az acélgyártás CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csökkentése.

5. A klímavédelem a nemzetközi politika középpontjába került; ezzel az acéliparra, mint nagy kibocsátóra nagy felelősség és súlyos feladatok hárultak. Az acélipar CO<sub>2</sub>-kibocsátását 2050-ig 50-55%-kal kellene csökkenteni.
6. Ehhez új technológiákat kell kidolgozni és bevezetni, ami jelentős költségekkel jár. A kormányzatok és a nemzetközi szervezetek célirányos szabályozók alkalmazásával és pénzügyi eszközökkel támogatják a vállalatok ezirányú fejlesztéseit.
7. A dolgozat rövid áttekintést ad a lehetséges megoldásokról, és összefoglalja a ma ismert megoldások lényegét.

## Felhasznált források

- [1] Tardy, P. – Károly, Gy.: BHM Berg- und Hüttenmanische Monatshefte 148 (2003) No. 7. pp. 261–268
  - [2] Tardy, P.: stahl u. eisen 133 (2013) No. 3. pp 49–57. Az acélipar termelésére, a technológiák arányára, energia- és nyersanyagfelhasználására vonatkozó adatok a World Steel Association (WSA) statisztikai kiadványai-ból (Steel Statistical Yearbooks) származnak.
- A klímaváltozással kapcsolatos adatok, információk, programok legfontosabb forrásai a nagy nemzetközi szervezetek tematikus kiadványai, honlapjai:
- World Steel Association  
 International Energy Agency: Iron and Steel Technology Roadmap  
 World Economic Forum  
 EUROFER Low Carbon Roadmap: Pathways to a CO<sub>2</sub>-neutral European steel industry  
 OECD Steel Committee  
 Joint Research Center (EU)
- Internetes portálok:  
 Material Economics  
 European University Association (EUA)  
 EIONET Climate Change Mitigation and Energy (ETC/CME)

SZÉLL ATTILA – FAZEKAS PÉTER

# Melegalakító szerszámacélon kialakított duplex bevonat tribológiai vizsgálata

*Előzetesen 50 HRC keménységűre hőkezelt melegalakító szerszámacélt (1.2344 ESR/ESU) sófürdős karbonitridálással kezeltünk különböző kezelési paraméterekkel, majd ezt követően nedves kémiai és mechanikai előkészítést végeztünk a próbatesteken a vegyületi réteg eltávolítása céljából. A próbatestekre ezután CrAIN alapú PVD-bevonatot vittünk fel plazmával segített magnetronos porlasztással (PEMS). Az így létrehozott duplex bevonatos, valamint a csak karbonitridált, illetve csak edzett próbatestek tribológiai tulajdonságait vizsgáltuk. Gömbsüvegkoptató (Calotest) berendezéssel és ball-on-disc vizsgálathoz alkalmas moduláris mikro-nano felületvizsgáló berendezéssel hajtottuk végre a tesztek. A karbonitridált réteg és a CrAIN réteg kopásállóságát vizsgáltuk. Arra kerestük a választ, hogy a különböző vastagságú karbonitridált rétegekre felvitt PVD-réteg kopással szembeni ellenállása hogyan függ a rétegvastagságtól és a réteg felépítésétől. A vizsgálatok során kopási jellemzőket, kopási térfogatot, kopási tényezőt és súrlódási együtthatót határoztunk meg a különböző bevonattípussal ellátott próbatesteken.*