

PORTÁSZ ATTILA – SZABÓ GÁBOR

## Innovatív kis szén-dioxid-kibocsátású technológiák az acéliparban

*Az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának megfelelően alacsony szinten történő stabilizálása elengedhetetlennek tűnik a súlyos éghajlatváltozás megelőzése érdekében. Az EU ambiciózus klímacéljai és a napjainkban elterjedt acélipari technológiák, valamint az acélermékek iránti keresletre vonatkozó hosszútávú előrejelzések nincsenek összhangban. Az EU-ban az ágazat CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésre irányuló innovációs tevékenysége a világ élvonalába tartozik, az elért eredmények jelentősek.*

*Cikkünkben azokat a forradalmian új megoldásokat igyekszünk röviden bemutatni, amelyekkel az acélipar a klímacélok által jelentett kihívásokra próbál gazdasági szempontból is fenntartható válaszokat adni.*

### 1. Az antropogén CO<sub>2</sub>-kibocsátás és a globális felmelegedés

Egymástól független mérési eredmények bizonyítják, hogy a földfelszín globális hőmérséklete az 1900-as évek eleje, a második ipari forradalom kezdete óta jelentősen nőtt. Jelenleg kb. 1 °C-kal haladja meg a korábbi szintet (1. ábra).

Az üvegházhatású CO<sub>2</sub> légköri koncentrációja is meredeken emelkedett az elmúlt évtizedekben, ezt a trendet gyakorlatilag leköveti az ún. antropogén eredetű CO<sub>2</sub>-kibocsátás változása.

Sokan szkeptikusak azzal kapcsolatban, hogy az antropogén CO<sub>2</sub>-kibocsátás és a globális földfelszíni hőmérsékletemelkedés ok-okozati kapcsolatban van-e vagy sem, az minde-

nesetre megállapítható, hogy a fenti két érték változásának trendjében figyelemreméltó egybeesés tapasztalható.

Egyes klímamodellek szerint, amennyiben az iparosodást megelőző szinthez képest 2 °C-nál magasabb globális hőmérsékletemelkedés következik be, akkor a súlyos éghajlatváltozás elkerülhetetlenné válik. Becslések szerint az éghajlatváltozás korlátozására irányuló határozott fellépés nélkül a globális hőmérséklet 2050-re 2 °C-kal, 2100-ra pedig több mint 4 °C-kal emelkedhet [4]. Ahhoz, hogy ne lépjük túl a 2 °C-os küszöböt, a világ minden országának drasztikusan csökkentenie kell az üvegházhatású gázok – egyebek mellett a CO<sub>2</sub>-kibocsátását. A fejlett országoknak és az EU-nak az innovatív, alacsony

szén-dioxid-kibocsátású technológiák kidolgozásában és bevezetésében is élen kell járniuk minden gazdasági szektornak, így a vas- és acélipar területén is.

### 2. Az Európai Unió klímacélja és az Eurofer ezzel kapcsolatos álláspontja

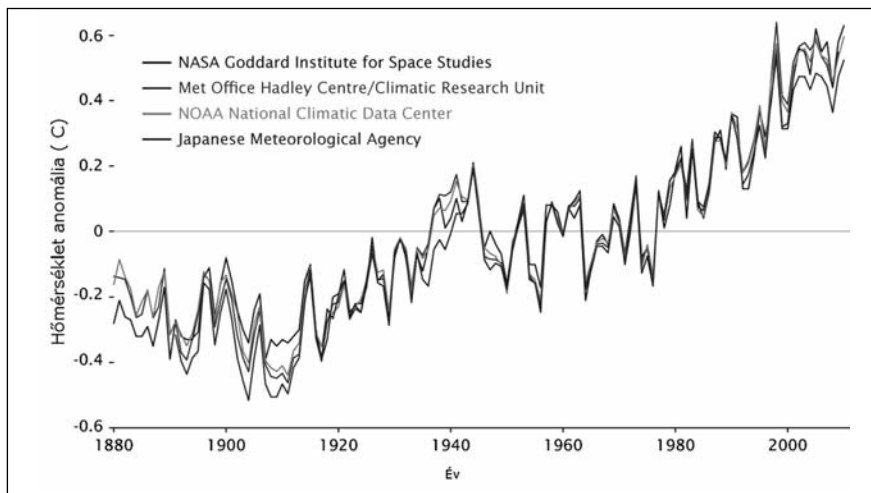
Az Európai Unió – mint az ENSZ éghajlatváltozási keretegyezmény (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) tagjának – célja, hogy a légkörben lévő üvegházhatású gázok koncentrációját olyan szinten stabilizálja, amellyel még képesek lehetünk elkerülni a súlyos éghajlatváltozást. A cél érdekében az Európai Unió – más fejlett gazdaságok mellett – elkötelezte magát arra, hogy 2050-ig az 1990-es szint 80-95%-ára csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását [5]. Az Unió arra törekszik, hogy a világ más régiói számára példaértékű erőfeszítéseket tegyen a klímacélok megvalósítása érdekében. Lényeges megjegyezni, hogy a világ elmaradottabb régiói csak abban az esetben fogják követni ezeket az ambiciózus célokat, ha már megbizonyosodtak arról, hogy az alacsony szén-dioxid-kibocsátású módszerek és technológiák az adott iparág versenyképességét érdemben nem rontják.

„Ahhoz, hogy az Unió klímacéljai teljesüljenek, kulcsfontosságú az innovatív, versenyképes és környezetbarát európai acélipar.” – olvashatjuk az Eurofer (Európai Acélipari Szövetség) 2017.12.14-én a témával kapcsolatban kiadott vitaanyagában (Towards an EU Masterplan for a Low-Carbon, Competitive European

A cikk a Magyar Acél 2018 tavaszi lapszámában jelent meg.

**Portász Attila** okleveles kohómérnök képlékenyalakító szakirányon szerzett diplomát 2009-ben. 2003 óta dolgozik az ISD Dunafer Zrt.-nél, 2014-től főtechnológus, 2017-től K+F osztályvezető pozícióban. 2017 év elejétől a Magyar Vas- és Acélipari Egyesülés technológiai- és kutatási igazgatóhelyettesi teendőit is ellátja.

**Szabó Gábor** 2006-ban gépgyártás-automatizálási szakirányon végzett az ME Gépészmérnöki Karán, 2009-ben anyagmérnöki diplomát kapott a MAK hőkezelő és képlékenyalakító szakirányán, anyaginformatikai ágazaton, majd 2016-ban PhD-fokozatot szerzett. Jelenleg a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán, a Metallurgiai Intézetben adjunktusi beosztásban dolgozik.



■ 1. ábra. A globális földfelszíni átlaghőmérséklet változása az 1900-as évektől napjainkig [1]

Steel Value Chain) [7]. Az Eurofer a fent említett összeállításában kifejti, hogy az európai acéltipar komoly erőfeszítéseket kíván tenni annak érdekében, hogy az EU megőrizze globális vezető szerepét a karbon-semlegességre törekvő ipari innovációk területén, feltéve, hogy a kibocsátás csökkentést célzó újítások gazdasági szempontból életképesnek bizonyulnak. Az Eurofer ezzel nyilvánvalóvá teszi, hogy támogatja az Unió klímacéljait, azonban azt is, hogy nem minden áron. Ha a CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentése érdekében megvalósítandó technológiai újítások fajlagos költségei hosszabb távon nem mérséklődnek jelentősen, veszélyeztetve ezzel az iparág versenyképességét, akkor a klímacélok felülvizsgálata válhat szükségessé.

### 3. Alapvető tények és a legfontosabb trendek az EU, valamint a globális acéltipar CO<sub>2</sub>-kibocsátásával kapcsolatban

Az emberi tevékenységből származó CO<sub>2</sub>-kibocsátás szerkezetéről rendelkezésre álló adatok alapján megállapítható, hogy az acéltipar a globális CO<sub>2</sub>-kibocsátás egyik jelentős forrása. A Worldsteel 2015-ös adatai alapján a nyersvas- és acélgártás felelős a teljes antropogén CO<sub>2</sub>-kibocsátás 6,7%-áért, ezen belül az ipari eredetű kibocsátás 31%-áért [6].

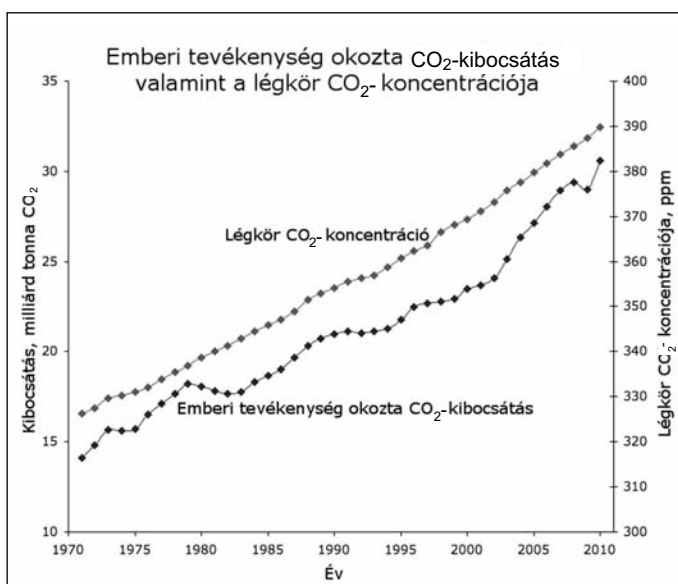
Tekintettel arra, hogy az előrejelzések alapján az acéltipar iránti globális kereslet a 2016-os 1,6 milliárd tonnáról 2030-ra 2 milliárd tonnára, míg 2050-re 2,7 milliárd tonnára nő [7], az acélgártásból származó globális kibocsátás tovább fog emelkedni mindaddig, amíg nem kerülnek széles körben bevezetésre a részben már ma is rendelkezésre álló innovatív CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentési technológiák.

Az ún. elsődleges acélgártási eljárás – ércből redukcióval történő nyersvas-előállítás, majd oxigén-konverteres acélgártás – szerepe a következő évtizedekben még biztosan meghatározó marad, mindaddig legalábbis, amíg a rendelkezésre álló acélhulladék mennyisége meg nem

közelíti a teljes globális acéligényt. Ez azért lényeges, mert míg az ún. másodlagos eljárás (acélhulladék alapanyagból történő elektroacélgártás) fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátási értéke kb. 0,4-0,5 (t CO<sub>2</sub>/t nyersacél), addig az elsődleges eljárás kibocsátása az alkalmazott technológiától – főleg a konverterben felhasznált acélhulladék mennyiségétől – függően jellemzően 1,5-2,0 (t CO<sub>2</sub>/t nyersacél) között változik [8].

A világ többi részéhez hasonlóan, jelenleg az EU-ban is a két meghatározó acélgártási módszer a nagyolvasztós-oxigén konverteres (BF-BOF), valamint az elektromos ívkemencében acélhulladékból történő acélgártó (EAF) eljárás. A két különböző módszerrel előállított nyersacél egymáshoz viszonyított részaránya az Unióban jelenleg 60/40% a nagyolvasztós-oxigén konverteres eljárás javára [7].

Az elsődleges acélgártási eljárás során a nagyolvasztóban vasércből és kokszból nyersvasat állítanak elő, a folyamat során jellemzően a kokszból magas hőmérsékleten keletkező szén-monoxid (CO) távolítja el a vasérc oxigéntartalmát a redukció során, a művelet elkerülhetetlen terméke a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>). Az eljárás második lépéseként a még viszonylag nagy karbon-, mangán- és szennyezőanyag-tartalmú folyékony nyersvasból konverterben acélt állítanak elő oxigén befúvás segítségével bizonyos mennyiségű acélhulladék felhasználásával, amelyre elsősorban a folyamat hőmérsékletének kézbentartása miatt van szükség. Ezzel szemben a másodlagos eljárás során ívkemencében (EAF) acélhulladék átolvasztásával állítják elő a nyersacélt villamos energia felhasználásával. Mivel a másodlagos eljárás során nincs szükség a vasérc redukciójára, ezért a folyamat közben fajlagosan kb. negyedannyi CO<sub>2</sub> keletkezik, mind az elsődleges eljárás közben.

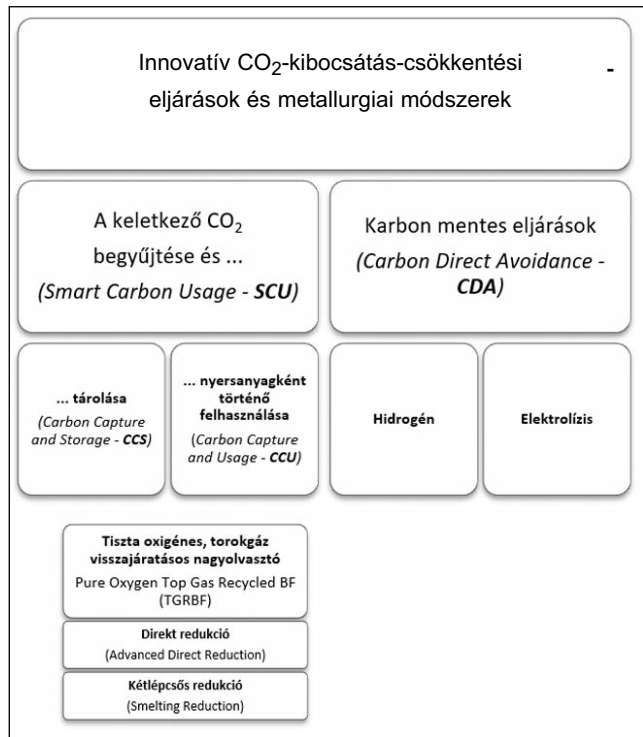


■ 2. ábra. A CO<sub>2</sub> légköri koncentrációjának változása [2], valamint az emberi tevékenységre visszavezethető globális CO<sub>2</sub>-kibocsátás [3]

A másodlagos eljárás részaránya az EU-ban a német Stahlinstitut VDEh előrejelzése szerint 2050-re mindössze 44%-ra fog emelkedni a jelenlegi 40%-ról [9]. Az EU (mint a fejlett gazdaságok legtöbbször) netó acélhulladék exportőr és ez a fentiek alapján várhatóan a jövőben sem fog érdemben változni. Az EAF technológia térnyerését főleg az korlátozza, hogy a nyersanyagként felhasznált acélhulladékban lévő szennyezők közül néhány nem távolítható el hatékonyan a folyamat közben, így nagy tisztaságú acélminőségek előállítására a másodlagos technológia korlátozottan alkalmas.

Az EU acélipara innovatív módszerekkel évtizedek óta javítja a nyersanyag- és energiafelhasználás hatékonyságát, ennek is köszönhetően világszerte a CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentés terén elért eredmények tekintetében. 1960 óta az EU acéliparának fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátása közel 50%-kal csökkent [10]. Napjainkra az évtizedek óta tartó fejlesztéseknek köszönhetően mind az elsődleges, mind a másodlagos eljárás hatékonysága megközelíti a folyamat termodinamikai határát.

Figyelembe véve a jelenlegi körülményeket – energiapiac szerkezete, infrastruktúra – az EU CO<sub>2</sub>-kibocsátás kereskedelmi rendszerének (EU ETS) negyedik kereskedési periódusában kitűzött ambiciózus célok egyelőre teljesíthetetlennek tűnnek az acélipar számára, mind a kibocsátáscsökkentés aránya, mind annak időbeli ütemezése tekintetében. Az EU ETS célja 43%-os CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentés 2030-ra a 2005-ös szinthez képest, majd ezt követően 2,2%-os lineáris csökkenési faktor mellett minimum 80%-os CO<sub>2</sub>-mérséklés elérése [7]. Forradalmi áttörést jelentő technológiák nélkül ezek a célok elérhetetlenek, ezzel együtt azt is érdemes megjegyezni, hogy önmagában az új technológiák rendelkezésre állása nem jelent megoldást, ha azok gazdasági szempontból hosszabb távon életkép-



■ 3. ábra. Az acélgártás CO<sub>2</sub>-kibocsátásának jelentős csökkentésére alkalmas innovatív módszerek

telennek bizonyulnak. Véleményünk szerint annak érdekében, hogy az ágazat a klímacélok elérés közben tett erőfeszítések mellett is versenyképes tudjon maradni, az Unió döntéshozóinak a kutatás-fejlesztés és az innováció támogatásán messze túlmutató finanszírozási keretrendszer kellene létrehozniuk.

#### 4. Forradalmian új alacsony CO<sub>2</sub>-kibocsátású módszerek

Az eddig megismert számok alapján nyilvánvaló, hogy az EU ambiciózus klímacéljainak elérése érdekében hosszabb távon forradalmian új, alacsony szén-dioxid-kibocsátású módszerek kifejlesztése és széles körű alkalmazása elengedhetetlen az acélipar területén is. Azonban rövid távon a hagyományos eljárások energiahatékonyságának és fajlagos nyersanyag-felhasználásának javítása érdekében érdemes még kiaknázni a technológiákban rejlő lehetőségeket. Ilyenek például a nagyolvasztóba történő koksziporfúvás, a konverteres acélgártás során a hulladékarány növelése, a metallurgiai folyamatok során keletkező gázok hatékonyabb „újrahasznosítása”, vagy a folyamatok integrálása (pl. a folyamatosan öntött

bugák fizikai hőtartamának hatékonyabb felhasználása a melegalakítás hőmérsékletére történő hevítésük közben). Eredményes lehet ebben a vonatkozásban a berendezések üzemidő-kihasználásának (rendelkezésre állásának) javítása, a rendelkezésre álló kapacitások jobb kihasználása is.

A továbbiakban sorra vesszük azokat a forradalmian új technológiákat, amelyek az acélipar számára is lehetővé tehetik a jövőben az EU által előirányzott kibocsátáscsökkentési normák teljesítését. Az említett módszerek nagyrészt még nem állnak készen a gazdaságos ipari méretű alkalmazásra, jellemzően a laboratóriumi fejlesztési fázist követő különböző méretű pilotprojektekkel találkozhatunk,

amelyeknél a szakemberek jelenleg is a folyamatok optimalizálásán, hatékonyságuk, gazdaságosságuk javításán dolgoznak. A 3. ábrán az acélgártás CO<sub>2</sub>-kibocsátásának csökkentésére szolgáló innovatív módszerek csoportosítása látható.

Alapvetően két fő irányt különböztethetünk meg a CO<sub>2</sub>-kibocsátáscsökkentési módszerek között, ezek a folyamat során keletkező CO<sub>2</sub> tárolása (CCS), vagy valamilyen vegyipari termék előállításához nyersanyagként történő felhasználása (CCU) – ezeket együttesen nevezi az szakirodalom SCU-nak, illetve a karbon kiváltása valamilyen egyéb redukáló ágenssel/módszerrel (CDA). A CO<sub>2</sub> begyűjtése és tárolása vagy alapanyagként történő felhasználása kombinálható olyan új önmagukban is jelentős kibocsátáscsökkentést eredményező metallurgiai módszerekkel, mint a direkt vagy a kétlépcsős redukció, illetve a tiszta oxigénes-torokgáz visszajáratásos nagyolvasztó. A következőkben áttekintjük a 3. ábrán felsorolt módszerek legfontosabb jellemzőit, a bennük rejlő CO<sub>2</sub>-csökkentési potenciált, valamint az alkalmazásuk során felmerülő nehézségeket. A 3. ábrán bemutatott módszerek nélkülözik a teljeség igényét, kizárólag olyan eljárás-

sokról lesz szó, amelyek esetén már jelentős eredményeket sikerült elérni a fejlesztőknek.

#### 4.1. SCU

A jelentős méretű pontforrásokból származó füstgázok CO<sub>2</sub>-tartalmának begyűjtésére és tárolására vagy alapanyagként történő felhasználására használt SCU (Smart Carbon Usage) gyűjtőnévvel illetett módszerek az ún. EOP (End Of Pipe), „cső végi” megoldások közé tartoznak. A módszer neve sokat elárul annak mibenlétéről, hiszen olyan kibocsátáscsökkentési eljárások tartoznak ebbe a kategóriába, amelyek nem a megelőzésről szólnak, hanem a füstgázemisszió helyszínén történő CO<sub>2</sub>-leválasztásról és -begyűjtésről. Az EOP módszerek alkalmazása jellemzően költségesebb, mint az emisszió megelőzése.

##### 4.1.1. CCS

A CO<sub>2</sub>-leválasztás és -tárolás (Carbon Capture and Storage) a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származó szén-dioxid kibocsátásának csökkentését szolgáló, az elmúlt időszakban az egyik legintenzívebben kutatott módszer. A CCS-t először hőerőművekben tesztelték, ezután merült fel az eljárás kohászati alkalmazásának lehetősége. A módszer lényege, hogy a keletkező füstgázból vegyi eljárással leválasztják a szén-dioxidot, majd azt jellemzően egy geológiai képződmény alkotta tárolóba sajtoltják. Ilyen tárolók lehetnek a kimerült földgáz és kőolaj rezervoárok, de szóba kerülhet a leválasztott gáz óceán alatti tárolása is [10]. Az eljárás hátrányai közé tartozik többek között, hogy meglehetősen energiaigényes, illetve a létesítmények fenntartása is viszonylag költséges, elég, ha csak a potenciális szivárgás folyamatos monitorozására szolgáló rendszer üzemeltetésére gondolunk. A hosszú távú, biztonságos föld vagy óceán alatti tárolással kapcsolatban egyelőre nem áll rendelkezésre kellő mennyiségű tapasztalat. A felsorolt hátrányoktól függetlenül a CCS-módszer szélesebb körű elterjedése hozhat leghamarabb szignifikáns CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentést a nyersvas és acélgártás területén, hiszen nincs szükség a

meglévő termelő berendezések alapvető átalakítására.

##### 4.1.2. CCU

A CCU- (Carbon Capture and Usage) eljárás egy lépéssel tovább megy. Ahelyett, hogy a leválasztott CO<sub>2</sub>-t hulladékként kezelné, a kohászati folyamatokban keletkező gázok újrahasznosítását hivatott megoldani. A módszer lényege, hogy a leválasztott CO<sub>2</sub>-t és a füstgázok egyéb összetevőit (CO, H<sub>2</sub> stb.) nyersanyagként hasznosítja kereskedelmi értelemben is értékes termékek, mint például műtrágyák, üzemanyagok és egyéb vegyi anyagok előállításához. Az ilyen módon előállított üzemanyagok helyettesíthetik a fosszilis eredetű termékeket, tovább csökkentve ezzel a CO<sub>2</sub>-kibocsátást. A CCU-mintaprojektek közül kiemelkedők a Steelanol (ArcelorMittal-Primetals), a Carbon2 Chem (thyssenkrupp) és a FReSME (SSAB-Tata Steel-MEFOS) eljárások.

A módszerek létjogosultsága egyébként abban rejlik, hogy az acélgártásból származó hulladékgáz-összetevők szintézisének energiaigénye alacsonyabb, mint a hagyományos forrásból származó alapanyagok felhasználásával történő szintézisé, főleg a füstgáz magas fizikai hőtartalmának köszönhetően. A CCU-eljárások sok esetben gazdaságosan kombinálhatók CCS-sel, mivel a reakciók mellékterméke sok esetben nagytisztaságú szén-dioxid.

#### 4.2. EOP-val kombinálható innovatív metallurgiai technológiák

A következőkben olyan metallurgiai módszereket mutatunk be, amelyek a CO<sub>2</sub>-kibocsátás megelőzésére helyezik a hangsúlyt. Ezek az eljárások kombinálhatók az előző pontban részletezett EOP- (CCS és/vagy CCU) megoldásokkal, így hatékonyságuk jelentősen javítható.

##### 4.2.1. Tiszta oxigénes, torokgáz visszajáratásos nagyolvasztó (TGRBF)

Az eljárás újszerűsége abban áll a hagyományos nagyolvasztós nyersvasgyártáshoz képest, hogy egyrészt az érc redukciója során keletkező torokgáz CO<sub>2</sub>- és CO-tartalmát elvá-

lasztják egymástól, majd a szén-monoxidot egy ún. második fúvósíkon át magas hőmérsékleten (kb. 900 °C-on) a kohó aknarészébe injektálják, gyakorlatilag újrahasznosítják. A technológia másik innovatív megoldásaként a forrószület (nagy hőmérsékletű levegőt) nagy tisztaságú oxigénnel helyettesítik, amely megoldással elkerülhető a levegő ballaszt nitrogéntartalmának felhevítése. A TGRBF-módszerrel a fajlagos kokszfogyasztás 25%-kal csökkenthető, ezáltal a közvetlen CO<sub>2</sub>-kibocsátás 18%-kal mérsékelhető [11]. További előny, hogy a torokgáz a tiszta oxigén befúvatása miatt nagy koncentrációban tartalmaz CO<sub>2</sub>-t, amely így alkalmassá válik arra, hogy az eljárást valamely EOP-módszerrel gazdaságosan kombinálják, így akár 50% CO<sub>2</sub>-emissziócsökkentés is elérhető [12]. A TGRBF technológiát a svéd LKAB tulajdonában lévő, a MEFOS luleái kutatóintézetébe telepített kísérleti (8,2 m<sup>3</sup>-es, 35-40 t nyersvas/nap kapacitású) nagyolvasztóján sikeresen tesztelték. Az eljárás üzemi méretben történő tesztelésének előkészítése folyamatban van, ami a rendkívül nagy költségigénye miatt meglehetősen vontatottan halad.

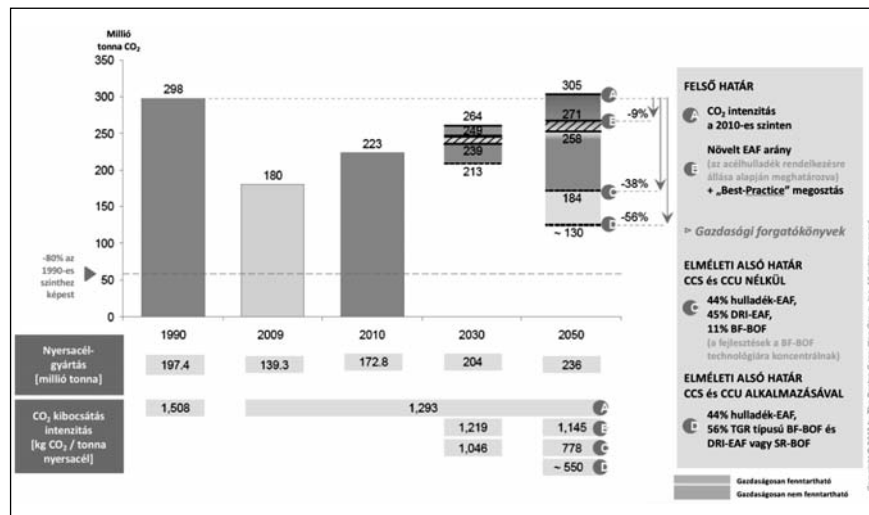
##### 4.2.2. Direkt redukció

A vasérc szilárd állapotban történő ún. direkt redukciója (a nagyolvasztóban folyékony állapotban végrehajtott redukcióval szemben) a koksizálás és akár az ércdarabosítás műveletét is szükségtelenné teszi. A direkt módon, szilárd állapotban redukált vasból (DRI – Direct Reduced Iron) ívkemencés acélgártással (DRI-EAF) elérhető fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkenés így akár az 50%-ot is elérheti, ha a hagyományos BF-BOF technológia hasonló mutatóját vesszük alapul. 2016-ban a MIDREX Technologies adatai alapján a globális DRI termelés meghaladta a 72 millió tonnát, az előállított mennyiség 2010-ig dinamikus bővülést mutatott, azonban az elmúlt években kb. 70 millió tonna/éves szinten stagnál [13]. A módszer széleskörű elterjedését korlátozza, hogy a művelet során redukálószerként felhasznált földgáz aktuális világgiazi ára jelentősen befolyásolja az eljárás gazdaságosságát. Ugyancsak a tech-

nológia hátrányai közé sorolható, hogy viszonylag drága, jó minőségű vasérc alapanyagot igényel, továbbá csak kis karbonintenzitású forrásból származó villamosenergia felhasználása mellett képes produkálni a kétségtelenül figyelemreméltó 1,0 t CO<sub>2</sub>/t DRI körüli fajlagos kibocsátás értékeket. A DRI-EAF technológia hatékonysága jelentősen javítható, ha a szilárd állapotban redukált vas fizikai hőtartamát felhasználjuk az acélgéártás során (hDRI – hot Direct Reduced Iron), láthatjuk, hogy a folyamatintegráció szerepe itt is hangsúlyos a kibocsátás-csökkentés és a fajlagos energiafelhasználás tekintetében. Anál is inkább célszerű így eljárni, mivel a direkt redukció terméke rendkívül érzékeny a reoxidációra, főleg, ha nem megfelelő módon, nedves környezetben tárolják. Ez utóbbi problémát igyekeznek kiküszöbölni a direkt redukció HBI-nek (Hot Briquetted Iron) nevezett terméke, amelynek tömegegységre jutó felülete jóval kisebb, ennek megfelelően pl. tengeri szállításra is alkalmas anélkül, hogy jelentős mértékben oxidálna.

#### 4.2.3. Kétlépcsős redukció

Az előző pontban részletezett direkt redukciós eljáráshoz hasonlóan ezzel a technológiával is elkerülhető a koks-, zsugorítvány- és pelletgéártás okozta környezetterhelés, mivel a kétlépcsős redukció (Smelting Reduction) során is nyers állapotú, előkészítetlen ércet és szenet adagolnak a kemencébe. A reaktor felső, ciklon részén történik az érc beadagolása, valamint az oxigén injektálása. Az ott kialakuló nagy hőmérséklet következtében az érc megolvad, és a falazat mentén a reaktor – alsó – konverter részébe kerül. A redukciós folyamatok lejátszódásához és hőigényének kielégítéséhez szükséges előmelegített szenet a reaktor konverterrészébe adagolják. A redukció során keletkező szén-monoxidot oxigén felhasználásával részlegesen elégetik. A távozó forró gáz éghető része a reaktor felső részén a ciklonba vezetett oxigén hatására teljes mértékben kiég, a hőenergiáját az ellenáramban haladó ércnek adja át [11]. A távozó torokgáz koncentráltan tartalmazza a széndioxidot, így az eljárás valamely EOP-



4. ábra. Az EU acélipara által 2050-ig elérhető CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentés különböző forgatókönyvek esetén [5]

módszerrel gazdaságosan kombinálható.

Önmagában a kétlépcsős redukció kb. 20%-kal alacsonyabb fajlagos CO<sub>2</sub>-kibocsátást tesz lehetővé, a hagyományos nagyolvasztós eljáráshoz képest. A technológia rugalmassága azonban lehetővé teszi a szén biomasszával, földgázzal vagy hidrogénnel történő részleges helyettesítését. Ez utóbbinak köszönhetően, illetve CCS-sel történő kombináció esetén összességében akár 80%-kal is alacsonyabb lehet az eljárás fajlagos CO<sub>2</sub>-emissziója, mint a hagyományos technológiáé.

#### 4.3. A karbon kiváltására alkalmas metallurgiai technológiák

A vasérc redukciójára a karbon alapú redukáló ágenseken kívül egyéb anyagok és módszerek is alkalmasak. Segítségükkel az acélipar kvázi szénmentessége belátható távolságba került. Azonban ahhoz, hogy ezek a technológiák valódi zöld megoldásokat jelentsenek, villamosenergia-igényüket megújuló vagy nukleáris forrásból kell biztosítani.

##### 4.3.1. Hidrogénnel történő redukció

A vasoxidok redukciójára a hidrogén is alkalmas, a karbon kiváltására elsősorban a direkt redukciós és a kétlépcsős redukciós technológia esetén mutatkozik lehetőség. A módszer egyik legkritikusabb kérdése, hogy képesek vagyunk-e gazdaságos mó-

don megfelelő mennyiségű „zöld” hidrogén előállításra. A hidrogén előállításának kézenfekvő módja az egyenárammal történő vízbontás. A hidrogénnel végzett redukció akkor lehet csak valóban szénmentes, ha a hidrogén előállításához szükséges villamos energia előállítása is szénmentes módszerrel történik. Látható, hogy a hidrogénnel történő redukció gyakorlatilag teljesen új infrastruktúrát követel meg, ennek megfelelően a meglévő (hulladék-EAF és BF-BOF) acélgéártó kapacitások átállítása hidrogén üzeműre gazdaságosan nem oldható meg, a módszer legfeljebb újonnan telepített kapacitások esetén jöhet szóba. Az ausztriai Linzben az EU Horizont 2020 programjának több, mint 18 millió eurós támogatásával 2017-ben kezdődött meg a világ legnagyobb „zöld” hidrogén előállításra alkalmas üzemének építése. A H2FUTURE elnevezésű pilot projekt az ún. proton exchange membrane (PEM) technológia felhasználásával a Voestalpine, a Siemens, a Verbund és az Austrian Power Grid valamint számos kutatóintézet által alkotott konzorcium munkájának eredményeként valósul meg [16].

##### 4.3.2. Elektrolízis

Az egyik leginnovatívabb, leginkább szénmentes elképzelés a vasoxid átalakítására az elektrolízissel végzett redukció [17]. Két változata jöhet szóba, az egyik az ULCOWIN eljárás, melynél 100 °C-nál kisebb hőmérsék-

letű lúgos oldatban kis szemcseméretű vasércet oldanak fel, az elektrolízis során a színvas a katódra válik ki, míg az anódon nagy tisztaságú további hasznosításra alkalmas, egyszerűen begyűjthető oxigén képződik. A másik módszer az ULCOLYSIS-nek nevezett eljárás gyakorlatilag abban különbözik az előzőtől, hogy itt az acélgártás hőmérséklet-tartományához hasonló hőmérsékletű sóolvadék az elektrolit. Az elektrolízissel történő vas-oxid-redukció egyik legnagyobb kihívását egy megfelelő inert fémanód kifejlesztése jelenti. Habár az sajnos jól látszik, hogy a fent említett két módszer ipari méretű gazdaságos alkalmazása még évtizedekre van, az mindenesetre bizakodásra adhat okot, hogy olyan egyéb fémek, mint az Al, Ni, Zn elektrolízise már régóta megoldott ipari méreteken is.

### 5. Az EU acélipara által reálisan elérhető CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentés

Az előző pontban felsorolt ígéretes módszerek áttekintése után, most vizsgáljuk meg a Stahlinstitut VDEh és a Boston Consulting Group előrejelzése alapján, hogy a különböző technológia-mixeket reprezentáló forgatókönyvek mellett mi az EU acéliparának reális CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentési potenciálja 2050-ig.

Figyelemreméltó, hogy a 4. ábrán felvázolt forgatókönyvek közül sajnos egyik sem számol 2050-ig az elektrolízissel végzett redukció, mint a szénsemlegességhez leginkább közelálló technológia elterjedésével. Az előrejelzés legoptimistább forgatókönyvét (D) elemezve elmondható, hogy 2050-re évi 236 millió tonna nyersacélgártás mellett CCU- és CCS-módszerek alkalmazásával, 44% hulladék-EAF és 56% TGRBF-BOF, DRI-EAF vagy SR-BOF technológia mix mellett a szektor teljes CO<sub>2</sub>-kibocsátása kb. 130 millió tonna lesz, ami 550 kg CO<sub>2</sub>/t nyersacél fajlagos kibocsátást jelent. Ez az 1990-es érték (1508 kg CO<sub>2</sub>/t nyersacél) kb. egyharmada, ezzel szemben a teljes CO<sub>2</sub>-emisszió az 1990-es szinthez képest csak 56%-kal csökkenhet, a termelési szint kb. 20%-os növekedése miatt. Fentiek alapján kijelenthető, hogy az acélipari kibocsátáscsökkentés olyan elméleti határba ütközik, amivel az EU

minimum mínusz 80%-os elképzelését nem képes teljesíteni. Ennél lényegesen aggasztóbb az az előrejelzésből kiolvasható adat, amely szerint az ágazat fenntartható gazdálkodásának megőrzése mellett mindössze kb. 10-13%-os CO<sub>2</sub>-kibocsátáscsökkentésre lesz lehetőség 2050-ig a '90-es szinthez képest.

### 6. Összefoglalás

Az ENSZ éghajlat-változási keret-egyezményének tagjaként az Európai Unió elkötelezte magát arra, hogy 2050-ig az 1990-es szint minimum 80%-ára csökkenti az üvegházhatású gázok kibocsátását. Az EU ambíciózus klímacéljának megközelítése érdekében az energiaintenzív, jelentős szén-dioxid-kibocsátó szektorok számára forradalmian új technológiák kifejlesztésére és széles körű bevezetésére van szükség viszonylag rövid időn belül. Az acélipar is a jelentős emisszióval rendelkező szektorok közé tartozik, hiszen a teljes antropogén eredetű CO<sub>2</sub>-kibocsátás közel 7%-ért felelős. Az Unió acélipari vállalatai élen járnak a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésére irányuló innováció tekintetében. Számos ígéretes új módszer áll a kutatási, optimalizálási folyamat különböző szakaszaiban, mind a keletkező CO<sub>2</sub> kezelése, mind a CO<sub>2</sub>-keletkezés megelőzése területén. Az eddigi tapasztalatok alapján elmondható, hogy a két különböző megközelítés kombinálása az emissziócsökkentés hatékonyságát jelentősen javítja. Itt kell azonban megjegyezni, hogy az Unió által 2050-ig megcélzott minimum 80%-hoz képest az EU acélipara a legoptimistább forgatókönyv alapján is legfeljebb kb. 60%-kal lesz képes visszaszorítani a CO<sub>2</sub>-kibocsátását. Fontos hangsúlyozni, hogy ez az emissziócsökkentés mértékének elméleti határa. A gazdasági szempontból fenntartható módon végrehajtható CO<sub>2</sub>-kibocsátáscsökkentés mértéke 2050-ig a becslések szerint alig haladja meg a 10%-ot. Rendkívül lényeges pedig, hogy a CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésére irányuló újszerű módszerek a drasztikus emissziócsökkentés mellett gazdasági szempontból is fenntarthatók legyenek, hiszen a klímacélok nem sodorhatják veszélybe a

szektor létét, jelenleg ez az egyik legnagyobb kihívás. A laboratóriumi fejlesztés és pilotprojekteken végrehajtott optimalizálás is rendkívül költséges tevékenység. Az acélipart jelenleg sújtó számos nehézség (harmadik országból érkező dömping, magas energiaárak, alacsony kapacitás-kihasználtság, szakemberhiány) miatt minimális marzssal működő cégek ilyen irányú K+F tevékenységének támogatása a hosszú távú biztonságos működésük egyik záloga lehet.

### Irodalom

- [1] *Adam Voiland*: Global temperature records in close agreement NASA's Earth Science News, 17 January 2011.
- [2] National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA (U.S. Department of Commerce) – Earth System Research Laboratory Global Monitoring Division: Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>)
- [3] International Energy Agency – IEA: CO<sub>2</sub> Emission From Fuel Combustion: Overview 2017 edition (page 10.)
- [4] European Commission: Questions and Answers on a Roadmap for Moving to a Low Carbon Economy in 2050 (press release – MEMO/11/150) Brussels/Strasbourg, 8 March 2011.
- [5] *Dr. Jean Theo Ghenda, Dr. Hans Bodo Lügen*: Potential for CO<sub>2</sub> Mitigation of the European Steel Industry (konferenciaelőadás) IEAG HG/IETS Iron and steel Industry CCUS and Process Integration Workshop, Tokyo, Japan, 2013.
- [6] Worldsteel Association: Steel's Contribution to a Low Carbon Future and Climate Resilient Societies (position paper), 2017.
- [7] Eurofer: Towards an EU Masterplan for a Low Carbon, Competitive European Steel Value Chain (discussion paper), 2017.
- [8] *Anne Carpenter*: CO<sub>2</sub> Abatement in the Iron and Steel Industry – ISBN 978-92-9029-513-6 International Energy Agency – IEA / Clean Coal Centre, 2012. (page 17.)
- [9] Steel Institute VDEh and The Boston Consulting Group: Steel's

Contribution to a Low Carbon Europe 2050 (Technical and Economic Analysis of the Sector CO<sub>2</sub> Abatement Potential), 2013.

[10] *Jean-Pierre Birat*: Steel and CO<sub>2</sub>—the ULCOS Program, CCS and Mineral Carbonation using Steel-making Slag ArcelorMittal, Maizières-les-Metz, France, 2007.

[11] *Dr. Móger Róbert, Dr. Pallósi József*: Az Európai Bizottság Szén és Acél Kutatási Alapjának tevékenysége ISD Dunaferri Műszaki Gazdasági Közlemények, 2. szám, 2012.

[12] *Chunbao (Charles) Xu, Cang Da-Qiang*: A Brief Overview of

Low CO<sub>2</sub> Emission Technologies for Iron and Steel Making, Journal of Iron and Steel Research International, 17(03) 2010.

[13] *Jason Ripke PhD.*: Innovative Uses of Hydrogen in Steelmaking (konferenciaelőadás) U.S. Department of Energy's H2@scale Workshop, Houston, 2017.

[14] *Jan van der Stel, Koen Meijer, Cornelis Teerhuis, dr. Christiaan Zeijlstra, Guus Keilman and Maarten Ouwehand*: Update to the Developments of Hisarna An Ulcos alternative ironmaking process (konferenciaelőadás) IEAGHG/IETS Iron and steel

Industry CCUS and Process Integration Workshop, Tokyo, Japan, 2013.

[15] From Residual Steel Gases to Methanol, <http://www.fresme.eu> (a pilot project weboldala) project kick-off Dec. 2016.

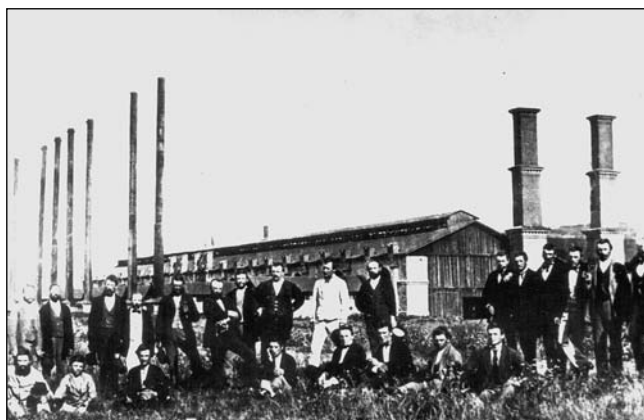
[16] European Commission funds H2FUTURE Project, <http://www.voestalpine.com> (voestalpine press release) 07.02.2017.

[17] *A. Ranzani da Costa, F. Patisson, D. Wagner*: Hydrogen Ironmaking (konferenciaelőadás) Erasmus Mundus Conference "Climate Change", Budapest, 2009.

## Marosváry István: A Diósgyőri Hengerművek története

Marosváry László azonos című, 1999-ben kiadott könyve alapján

**Az 1770-ben Fazola Henrik által alapított Diósgyőr-Hámori Vasművet 1868–70 között Péch Antal javaslatára új helyszínre, Újdiósgyőrbe költöztették. Az új gyár első feladata a Magyar Királyi Államvasutak sín- és sínszerszükségletének kielégítése volt. Hamarosan jöttek az újabb feladatok a mozdony lemezének gyártásától a lövedékek köpenyéig és így tovább. A diósgyőri gyár hengersorai 1987. évben 712.671 tonna hengerelt készárut termeltek, ami 64-szerese annak a 11 200 tonna „vaspályasín”-nek, aminek kihengerlésére a diósgyőri hengersorokat tervezték. Ezt a hallatlanul nagy fejlődést csak a hengersorok történetének ismeretében lehet értékelni.**



■ 1. ábra. Az Ó-Hengerde épülete és dolgozói az indulás után

**Az „Ó-Hengermű” indítása, felfutása**

A magyar vasútépítés fellendülése 1867 után temérdek vasúti sín, heveder és alátétlemez gyártását tette szükségessé. Az 1770-ben alapított

Diósgyőr-Hámori Vasmű a hámori szűk völgyben nem volt tovább fejlesztendő. Ezek a körülmények arra indították a magyar kormányt, hogy a Diósgyőr-Hámori Vasmű végleges megszüntetése, vagy áttelepítése mellett döntsön.

Péch Antal pénzügyminiszteri titkár vezetésével a diósgyőri vaskohászati létesítésére tervet dolgoztak ki, mely után végleges döntés született 200 000 bécsi mázsa (11.200 tonna) vaspályasín termelésére szolgáló vasgyár felépítésére.

1868-ban a vasgyár építése megindult, és 1870 decemberében, bár kísérleti jelleggel, és sok nehézséggel már folyt sínhengerlés Diósgyőrben.

Gombossy János bányagazgató 1871. március 2-i, a Pénzügyminisztériumnak küldött távirata szerint, „Folyó

**Marosváry István** 1972-ben szerzett oklevelet a Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán, kohászatechnológia szakon. Az egyetem elvégzése után három évig a freitali Nemesacélműben dolgozott hengerész és hengerműi technológus beosztásokban. 1975-től 2008-ban történt nyugdíjba vonulásáig az LKM-ben és annak utódvállalataiban volt alkalmazásban hengermű technológiai és marketing területeken.