

A szén szerepe a hidrogén gazdaságban

The role of coal in the hydrogen economy

VADÁSZI Marianna

Miskolci Egyetem, Bányászat és Energia Intézet, H-3515 Miskolc-Egyetemváros, Magyarország;
marianna.vadaszi@uni-miskolc.hu; <http://www.kfgi.uni-miskolc.hu>

Abstract

Coal is an abundant domestic resource with a long history as a reliable source of low-cost electricity generation. Hungary's young, Pannonian lignite resources are significant internationally. The registered geological resource exceeds 5.7 billion tons, the productive resource exceeds 4.3 billion tons. [1] The country's coal production fell from PJ 121 in 2000 to PJ 32.3 in 21 years. [2] This ratio continued to decline in 2022 and is expected to decrease further as the trend towards limiting carbon dioxide (CO₂) emissions continues. The share of natural gas used to generate electricity almost doubled over the same period, rising by around 43%. [3] As the demand for clean energy continues to grow, alternative energy sources such as hydrogen are being further explored, technologies and applications are constantly being developed and improved, to support various industries. Hydrogen can be produced from almost all energy sources, although the use of hydrogen in chemical industry is now mostly produced from fossil fuels. Hydrogen produced from fossil fuels applied carbon capture, utilization, and storage (CCUS) can help to satisfy demand, decrease emissions, and increasing energy security through domestic production. Independence from energy imports and efforts to achieve the European Union's carbon-neutral goals make it essential to reassess domestic coal reserves. Our focus is on hydrogen produced using coal/lignite, taking a closer look at the current state of hydrogen demand, production and costs, the amount of CO₂ during its production. The publication also presents a working coal to hydrogen power plant.

Kulcsszavak: szén, hidrogén gazdaság, dekarbonizáció, CO₂ leválasztás, tárolás, hasznosítás, CCUS.

1. BEVEZETÉS

Az éghajlati válság mindannyiunkat érint. Túllép a földrajzi határokon, és figyelmen kívül hagyja a gazdasági és társadalmi különbségeket. Az alapoktól kezdve újra kell gondolnunk a rendszert. Nem tekinthető komolynak az a kötelezettségvállalás, amely nem foglalja magában az energiarendszerek átstrukturálását. A hidrogén az energetikai átállás stratégiai támogatója és egy új ipari forradalom ösztönzője, amely pozitív megterülést hoz a gazdasági növekedés, a foglalkoztatás és az energiabiztonság szempontjából. A REPowerEU közleményében az Európai Bizottság elismerte, hogy a hidrogén központi szerepet játszik a zöld átállásban, és arra törekszik, hogy 2030-ra 20 millió tonna zöldhidrogén-ellátást érjen el. [5] Az elmúlt néhány hónapban az európai intézmények erőteljesen dolgoztak azon, hogy elősegítsék az ágazat felfutását azáltal, hogy beavatkoznak a szabályozási keret egyszerűsítésébe és új finanszírozási eszközök biztosításába. Egyes ideológiai álláspontok azonban azzal a veszéllyel járnak, hogy aláássák a hidrogénben rejlő teljes potenciál felszabadítását, megakadályozva, hogy az energiafordulatban gyökeres változást hozzon. Bár Európa tisztahidrogén-kapacitása az elmúlt években nőtt, az Energiaügyi Világtanács leghatározottabban azt állítja, hogy 2030-ra az előre jelzett hidrogénigénynek csak több mint 20%-át, 2050-re pedig kevesebb mint 50%-át tudja kielégíteni. Az energiapartnernek keresése tehát Európa dekarbonizációjának alapvető feltételének bizonyul. [6]

A hidrogén mivel nem bocsát ki üvegházhatású gázokat, üzemanyagként is fontos szerepet játszhat az alacsony szén-dioxid-kibocsátású villamosenergia-hálózat kialakításában. Biztosítja a hosszú távú tárolhatóság előnyeit és a gyors eloszthatóságot az időjárási viszonyok miatt változó megújuló forrásokból történő hosszabb ideig tartó elégtelen energiatermelés során. A 100%-ban nulla szén-dioxid-kibocsátású forgatókönyv szerint a szél- és napenergia nagy részaránya mellett a hálózatüzemeltetőknek kiadható, alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiaforrásra van szükségük ahhoz, hogy hosszú ideig alacsony megújuló energiaforrások esetén is biztosítsanak villamos energiát. [4]

2. HIDROGÉN IGÉNY

A globális hidrogénkereslet 2021-ben meghaladta a 94 millió tonnát, ami 5%-os növekedést jelent az előző évhez képest. A növekedés legnagyobb része a hidrogén hagyományos alkalmazásaiban, különösen a vegyiparban való felhasználásra vonatkozott, közel 3 Mt növekedéssel, a finomítás esetében pedig körülbelül 2 Mt növekedéssel. Új felhasználási területként jelent meg a nehézipar, a közlekedés, az energiatermelés és az építőipar, valamint a hidrogénből származó üzemanyagok előállítása. Ezeken a területeken a hidrogén iránti kereslet 2021-ben nagyon alacsony volt, hozzávetőlegesen 40 kt H₂, amely a globális hidrogénkereslet körülbelül 0,04%-t tette ki. [11] Ez főként a közúti közlekedést jelentette, amely jelentős növekedést mutatott (60%, bár nagyon alacsony bázisról), tükrözve az üzemanyagcellás autók gyorsabb elterjedését, különösen a nehéz tehergépjárművek esetén. Kína a világ legnagyobb fogyasztója, a kereslet 2021-ben mintegy 28 Mt H₂ volt, ami 5% -os növekedést jelent 2020-hoz képest. Az Egyesült Államok a második és a Közel-Kelet a harmadik a rangsorban. A kereslet 2021-ben 8% -kal, illetve 11% -kal nőtt. Európában 2021-ben több mint 8 Mt volt a hidrogén iránti kereslet, ami gyakorlatilag megegyezik a 2020-as szinttel. [11]

3. HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁS

3.1. A jelenlegi helyzet

A hidrogén iránti keresletet szinte teljes egészében a változatlan fosszilis tüzelőanyagokból történő hidrogéntermeléssel elégítik ki. 2021-ben a teljes globális termelés 94 Mt hidrogén volt, amihez több mint 900 Mt¹ CO₂-kibocsátás társult. A CCUS (szén-dioxid leválasztás, tárolás, hasznosítás) nélküli földgázból történő előállítás a fő irány, 2021-ben a hidrogéntermelés 62%-át tette ki. A hidrogént a finomítóknál a szénhidrogének reformálásának melléktermékeként is előállítják (18%), majd más folyamatokhoz (pl. hidrokraakolás, kéntelenítés) használják fel. A szénből történő hidrogéntermelés 2021-ben a teljes termelés 19% -át tette ki, főként Kínában. Korlátozott mennyiségű (kevesebb mint 1%) olajat is felhasználtak hidrogén előállítására. Az alacsony kibocsátású hidrogéntermelés 2021-ben kevesebb mint 1 Mt (0,7%) volt, szinte mind fosszilis tüzelőanyagokból CCUS-al. Villamos energia felhasználásával vízbontással mindössze 35 kt H₂ került a hidrogén gazdasága. A vízelektrolízis során előállított hidrogén mennyisége, bár nagyon kicsi, 2020-hoz képest csaknem 20%-kal nőtt. Ez a víz elektrolizátorok növekvő alkalmazását tükrözi. [11]

3.2. Az alacsony kibocsátású hidrogéntermelés kilátásai 2030-ig

Az International Energy Agency (IEA) által nyomon követett hidrogéntermelési projektek szerint az alacsony kibocsátású hidrogént előállító, bejelentett projektek száma lenyűgöző ütemben növekszik. Ha a vízelektrolízisből vagy fosszilis tüzelőanyagokból származó hidrogénre vonatkozó összes bejelentett projekt megvalósul, és a CCUS jelenlegi fejlesztési üteme tovább halad, az alacsony kibocsátású hidrogén éves termelése 2030-ra elérheti a 24 Mt-t. E projektek jelenlegi állapota változó; egyesek előrehaladott tervezési (68%) mások még korai szakaszban vannak (32%). Az elektrolizátor projektek esetében a nagyon korai szakaszban az arány valamivel magasabb, 37%. 2021-ben számos elektrolizátor projektet jelentettek be, de ezeknek a projekteknek a kidolgozása időt igényel, és néhányat talán soha nem fognak megvalósítani. Dél-Ausztráliában például egy 6 GW megújuló villamosenergia-ellátást tartalmazó elektrolizátor projektet 2022-ben töröltek vízellátás problémák miatt. A 2030-ra tervezett több mint 24 Mt H₂ tervezett kapacitás nagy eltérést mutat a tervezett 34 Mt H₂ termeléshez képest. [11]

4. A SZÉNBŐL ELŐÁLLÍTOTT HIDROGÉN

A szén az éghajlattal és az energiával kapcsolatos viták középpontjában áll, mivel világszerte a villamosenergia-termelés, valamint a vas-, acél- és cementgyártás, valamint a szén-dioxid kibocsátás legnagyobb forrása. A jelenlegi energiaválság arra kényszerített egyes országokat, hogy az éghajlat- és energiacélok ellenére fokozzák a széntől való függésüket. A szénpiacok 2022-ben erősen megrendültek, a hagyományos

¹ Ez magában a metanol- és acélgégyártásban 74 Mt H₂ tisztahidrogén-termelést és körülbelül 20 Mt széntartalmú gázokkal kevert H₂-t jelent. Nem tartalmazza a hő- és villamosenergia-termelésre használt ipari folyamatokból származó maradékgázokban jelen lévő mintegy 30 Mt H₂-t, mivel ez a felhasználása a hidrogénnek ezekben a maradékáramokban való eredendő jelenlétéhez kapcsolódik, nem pedig a hidrogénigényhez. Ezeket a gázokat itt nem vesszük figyelembe a hidrogén iránti keresletben és kínálatban, ahogy a klóralkáli ipar hidrogén tartalmú melléktermékeit sem.

kereskedelmi forgalom megszakadt, az árak szárnyalnak, a kereslet pedig várhatóan 1,2%-kal nő, elérve minden idők csúcspontját, és először haladva meg a 8 milliárd tonnát. [7]

A csökkenő széntermelés hatalmas forrást hagy háta Magyarországon is, ez a hazai természeti erőforrás, energiabiztonságunk fontos eleme. A villamosenergia-termelés kezdete óta a szén megbízható és olcsó nyersanyagot biztosított az elektromos erőművek számára. A szén használata szállópor, kén-dioxid, nitrogén-oxidok, higany és CO₂ kibocsátását is eredményezte. A globális felmelegedés felismerésével a kormányok igyekeznek szabályozni a károsanyag kibocsátásokat. Ezek a szabályozások az üvegházhatást okozó gázok emittálásának jelentős csökkenését eredményezték.

4.1. A szénből előállított hidrogén előnyei

A szén-hidrogén termelés lehetőséget és előnyt is biztosíthatna hazánknak is, hogy rövid távon átálljon a hidrogéngazdaságra, mivel a fosszilis tüzelőanyagokból történő hidrogéntermelés jelenleg a legalacsonyabb költségű megoldás a jelenlegi technológiák alkalmazásával. Annak ellenére, hogy a fosszilis tüzelőanyagokból származó hidrogén előállítása során a CO₂-kibocsátás csökkentésére szolgáló jelenlegi CCUS-technológiák növelik a folyamat költségeit, a hidrogénnek jelentős előnyei vannak:

- Az összes ismert üzemanyag közül a legmagasabb az energiatartalma, és kritikus fontosságú alapanyag az egész vegyipar számára, beleértve a folyékony tüzelőanyagokat is.
- Előállítható nagy központosított gyártóüzemekben vagy kisebb elosztott termelési létesítményekben, és teherautóval, csővezetékkel, tartálykocsival vagy más módon szállítható.
- Nulla vagy közel nulla kibocsátást tesz lehetővé a közlekedésben, a helyhez kötött vagy távoli áramellátásban és a hordozható energiaalkalmazásokban, valamint az égésalapú technológiákban és az üzemanyagcellákban.
- Gigawattórányi energiatárolásra és a hálózat "érzékeny terhelésére" használható a hálózat stabilitásának lehetővé tétele érdekében, növelve az időszakos megújulóenergia-termelés kihasználtságát.
- Számos hazai iparágban használható, például acél, műanyag, ammónia és egyéb vegyi anyagok gyártásában. [8]

4.2. A szén-hidrogén termelési módszerek érettsége, beleértve a CCUS-t

Az alkalmazott gázosító típusa nagymértékben függ a szén és az alapanyag tulajdonságaitól. A gőz oxigén szén együttes felső adagolású reaktorok jellemzően jobban működnek alacsony hamutartalmú, alacsony nedvességtartalmú bitumenes szénrel. Ennek az az oka, hogy a beágyazott áramlási reaktorok nagy nyomás alatt és viszonylag alacsony tartózkodási idővel működnek a szintézisgázzá történő átalakítás során. Az üzemanyag-adagoló rendszerek, amelyek úgy vannak kialakítva, hogy nyomást gyakoroljanak az üzemanyagra annak érdekében, hogy a gázosítóba táplálják, eltömődhetnek a magas nedvességtartalmú tüzelőanyagokkal. Ezenkívül energiaveszteség van az üzemanyagokban lévő éghetetlen anyagok nyomás alá helyezésével kapcsolatban. A rögzített ágyas reaktorok, amelyek jellemzően alacsonyabb nyomáson működnek, és magasabb tartózkodási idővel rendelkeznek a reaktorban, jobban megfelelnek az alacsonyabb besorolású, magas hamu- és nedvességtartalmú biomasszának. [10]

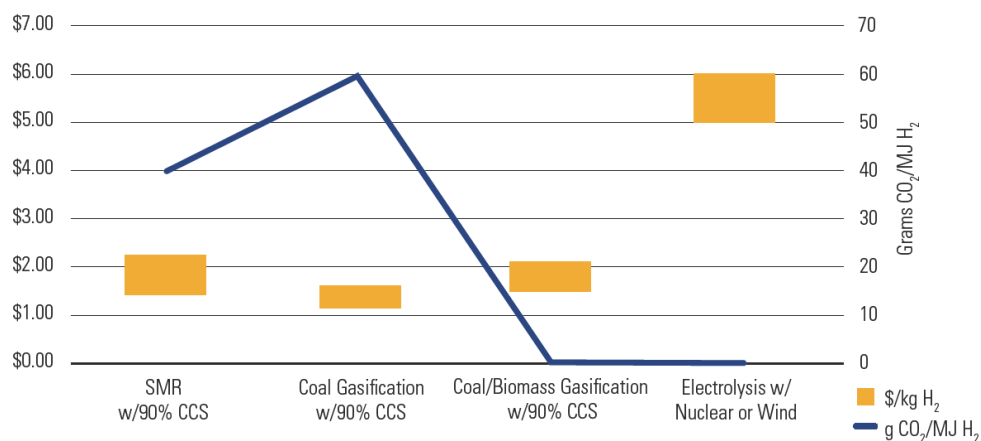
4.3. Példa egy működő szén-hidrogén termelő üzemre

A Beulah közelében található Dakota Gázosító Vállalat szintetikus üzemanyag-üzeme volt az első kereskedelmi szempontból integrált szén-szintetikus földgáz-gázosító üzem, amely a CO₂-t intenzív olajtermelés kinyerésére használta. Az üzem 16 000 t lignitből körülbelül 4,5 Mm³ szintézisgázt és körülbelül 8,000 t CO₂-t termel naponta. Az USA Energiaügyi Minisztérium (DOE) pénzügyi támogatásával épült erőmű 25 éve működik, és lignitből szintetikus földgázt állít elő. Az üzem 2000 óta gyűjti a CO₂-t, melyet a 330 km távolságban lévő kanadai Saskatchewan mezőben intenzív olajtermelésre használnak. Ezzel akár 3 Mt CO₂ megkötése is lehetséges. Működése óta 40 Mt CO₂ került elhelyezésre. Ezzel a mennyiséggel a világ leghatékonyabb üzeme. [12, 13]

Az üzem tervezésének és építésének teljes költsége körülbelül 2 milliárd dollár volt, 1984-ben kezdte meg működését, 5-6 Mt szenet használ SNG előállítására. Az így létrejövő hidrogén- és szintézisgáz vegyi anyagok és üzemanyagok forrását, valamint a villamosenergia-termelés kombinált ciklusában történő égetéshez és előmelegítéshez szükséges tüzelőanyagokat biztosítja. A keletkező hidrogént ammónia előállítására használják, évente körülbelül 400 000 tonnát.

5. A HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁS KÖLTSÉGEI

A hidrogéntermelési költségek technológiákként és folyamatokként változnak, jelenleg a fosszilis tüzelőanyagok uralják a piacot. A fosszilis tüzelőanyagokból származó kék hidrogén (CCUS-al) gazdaságilag versenyképes, karbonsemleges alternatívája lehet a villamosenergia-, ipari és közlekedési ágazatban használt hagyományos üzemanyagoknak. Jelenleg a szén-dioxid leválasztás nélküli széngázosítás a legköltséghatékonyabb hagyományos termelési folyamat, amint azt az 1. ábra mutatja [9].



1. ábra A hidrogén előállítás költségei és CO₂-intenzitása technológiák szerint, 2020-ban [9]

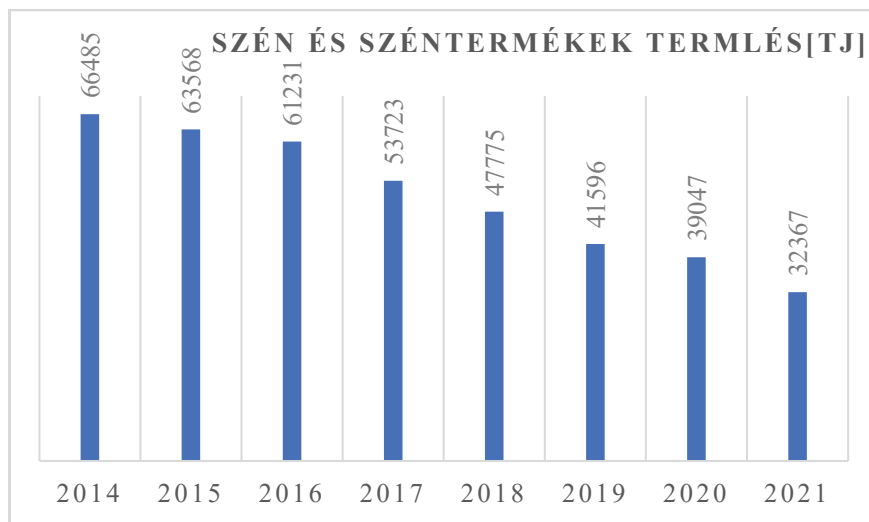
A földgáz gőzreformálásának költségei 1,43 - 2,27 USD/kg-ig terjednek CO₂ leválasztással és tárolással, ez nagymértékben függ a szállított földgáz árától. Számos tanulmány arról számol be, hogy a gázosításból származó hidrogén költsége 1,16-1,63 USD/kg között változik a szén esetében, és 1,31-2,06 USD/kg között a szén/biomassza/műanyag hulladék nyersanyag esetében, CO₂-befogás és tárolás alkalmazásával. Ezek a folyamatok nagymértékben függenek az alapanyagok árától is, ezért van kiemelt jelentősége a hazai forrásoknak. A nukleáris- vagy szélenergia forrásából származó hidrogéntermelés költsége vízbontással 5 és 6 USD/kg között alakul. Ez a hidrogén 2,5–4-szer költsége-sebb, mint a szén-dioxid-semleges vagy nettó negatív szén-dioxid-fosszilis erőforrásokból származó hidrogén. A hidrogén előállításához szükséges nyersanyagmennyiségek tájékoztató értékeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat 1 kg hidrogén előállításához szükséges nyersanyag szükséglet [16]

Szén	7,6 kg
Földgáz	4,5 Nm ³
Nukleáris és vízenergia	58,8 kWh
Víz (átlagosan)	11,3 liter
1 kg hidrogén átlagosan 4,5 kg benzint helyettesít	

6. MAGYARORSZÁG SZÉNTERMELÉSE

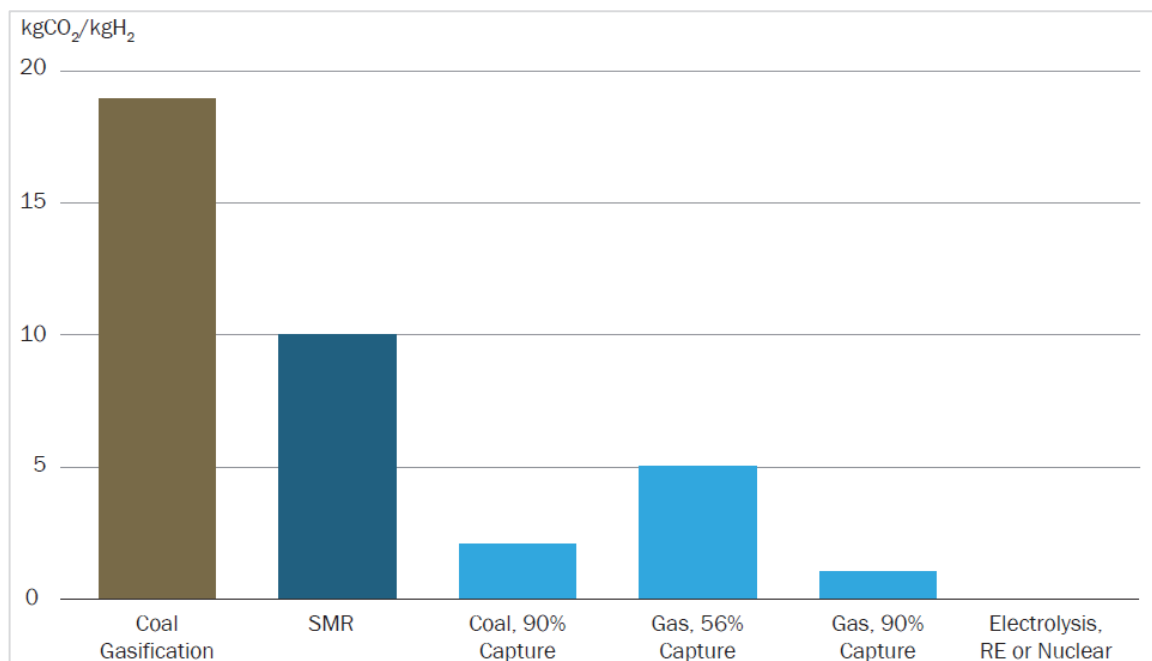
Mivel vizsgálódásunk tárgya a hazai szén, ezért nélkülözhetetlen az ország széntermelését elemezni. Hazánk lignitvagyon nemzetközi viszonylatban is számottevő. A 14 mérlegtétel szerinti regisztrált földtani vagyon meghaladja az 5,7 Mrd tonnát, a kitermelhető vagyonunk 4,3 Mrd tonna. A pannónia korban képződött formációt erőteljes szerkezeti széttagolódás nem érte, a települési mélység 70-270 m között alakul. A művelésbe vont rétegeket vízteleníteni kell. Ennek mértéke esetenként eléri a 30 m³/perc értéket, ami számottevő költségterhelést jelent. A hazai lignit fűtőértéke átlagosan 7,191 MJ/kg. Jelenleg Bükkábrány és Visonta térségében történik külfejtéses lignit bányászat, a két bánya telkében összesen 556 millió tonna kitermelhető szénvagyon található. [1] A kitermelt lignitet a Mátrai Erőműben villamosenergia előállítására használják. Magyarország széntermeléséről és szénvagyonáról ad tájékoztatást a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága által kiadott Ásványinyersanyag-vagyon mérlegszerű nyilvántartása. Eszerint hazánk összes széntermelése az utóbbi években 6-7 millió tonna között mozgott. [17] Az elmúlt közel 10 év csökkenő termelési értékeit szemlélteti a 2. ábra. [11].



2. ábra Országos éves energiamérleg, MEKH, 2021 [18]

7. A SZÉNBŐL ELŐÁLLÍTOTT HIDROGÉN CO₂ KIBOCSÁTÁSA

A különböző hidrogéntermelési technológiák CO₂ kibocsátása igen eltérő. A CCUS nélküli földgázból származó hidrogén CO₂-intenzitása nagyjából fele a CCUS nélküli szénének. Az elektrolízis CO₂ intenzitása a bevitt villamos energia CO₂ intenzitásától függ. A villamosenergia-termelés során bekövetkező átalakítási veszteségek azt jelentik, hogy a földgáz- vagy szénerőművekből származó villamos energia felhasználása magasabb CO₂ intenzitást eredményezne, mint a földgáz vagy a szén hidrogéntermelésre való közvetlen felhasználása. Függetlenül attól, hogy a hidrogént a földgáz reformálásával vagy széngázosítással állítják elő leválasztás és hasznosítás nélkül, jelentős mennyiségű CO₂ keletkezik. Például 2017-ben globálisan a hidrogén célzott előállításából származó kibocsátások összesen 830 Mt-t tettek ki, ami a teljes fosszilis CO₂ kibocsátás több mint 2%-ért felel.



3. ábra A hidrogéntermelésből származó CO₂-kibocsátás [15]

A 3. ábra a különféle módszerekkel előállított hidrogén CO₂ kibocsátását mutatja be. (csak az égetésből és kémiai átalakításból származó CO₂ kibocsátásokat tartalmazza). [15] A kibocsátás mennyisége 0-19 kgCO₂/kgH₂ tartományban mozog, vagyis a zöld hidrogén esetében nulla, a barna hidrogén (gázosítással szénből CCUS nélkül) esetében a legmagasabb. A szürke hidrogén (reformálással földgázból CCUS nélkül) körülbelül fele akkora kibocsátási intenzitással rendelkezik, mint a barna hidrogén, ami viszont azt eredményezi, hogy a földgázból származó kék hidrogén (reformálással CCUS-el) kibocsátásának körülbelül a fele a szénből származó kék hidrogén kibocsátásának azonos leválasztási arány mellett. A kék hidrogént tovább kategorizálják aszerint, hogy a leválasztás 56%-os vagy 90%-os. [14].

KONKLÚZIÓ

Ez a tanulmány felhívja a figyelmet a kiaknázatlan hazai szénvagyon alacsony kibocsátású hidrogén előállításának lehetőségére. Teszi mindezt azért, hogy a rendelkezésre álló forrásokkal diverzifikálni tudja az energiaigény kielégítésére fordított energiaforrásokat, csökkentse az importfüggőséget, növelje az ellátásbiztonságot, melyet az időszakos megújuló energiaforrások bizonytalansága esetenként nem képes kezelni. A fent említett szénből történő hidrogénpotenciálhoz kapcsolódóan a tanulmány tárgyalta azokat a főbb tényezőket, amelyeket figyelembe kell venni egy hidrogéntermelő létesítmény kiválasztásakor. Ide tartozik az alapanyag, a tőkeköltség, működési költség, a kibocsátott káros anyag mértéke, az alkalmazható CO₂ leválasztási technológiák rendelkezésre állása.

Bár a hidrogén vezérelt gazdaság végső célja a megújuló és alacsony szén-dioxid-kibocsátású erőforrásokon alapul, a fosszilis erőforrások hídként történő használata elősegítheti a megújuló energiaforrások és a hidrogénszállítási infrastruktúrák kiépítését.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a „RRF-2.3.1-21-2022-00009, azonosítószámú, Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium megnevezésű projekt a Széchenyi Terv Plusz program keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének támogatásával valósul meg.”

Irodalom

- 1 Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat: A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei, Budapest, 2018
- 2 Központi Statisztikai Hivatal: Primer energiahordozók termelése hőértékben, www.ksh.hu/stadat, 2022
- 3 Központi Statisztikai Hivatal: Bruttó villamosenergia termelés, www.ksh.hu/stadat, 2022
- 4 Fuel Cell and Hydrogen Energy Association: Roadmap to a U.S. Hydrogen Economy, January 27, 2021, <https://www.fchea.org/us-hydrogen-study>
- 5 European Commission, REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition, Brussels, 18 May 2022.
- 6 World Energy Council: Innovation Insights Brief, NEW HYDROGEN ECONOMY - HOPE OR HYPE? 2019,
- 7 International Energy Agency: Coal 2022, Analysis and forecast to 2025, 2022. december
- 8 National Association of Regulatory Utility Commissioners: Coal and Carbon Management Guidebook: Coal-to-Hydrogen Opportunities and Challenges, 2021. szeptember.
- 9 U.S. Department of Energy, “Hydrogen Strategy: Enabling A Low Carbon Economy,” Office of Fossil Energy, July 2020,
- 10 National Energy Technology Laboratory: Commercial Gasifiers, Gasifipedia, Section 5.2, <https://netl.doe.gov/research/Coal/>
- 11 International Energy Agency: Global Hydrogen Review 2022, www.iea.org 2022. szeptember
- 12 Lignite Energy Council: Great Plains Synfuels Plant, <https://lignite.com/mines-plants/poly-generation-plants/great-plains-synfuels-plant/Davison>
- 13 National Energy Technology Laboratory: SNG From Coal: Process & Commercialization, Gasifipedia, Section 7.5, <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/coal-to-sng-processJ>,
- 14 J. Bartlett; A. Krupnick: Decarbonized Hydrogen in the US Power and Industrial Sectors: Identifying and Incentivizing Opportunities to Lower Emissions, Resources for the Future, December 21,
- 15 Coal and Carbon Management Guidebook, Coal to Hydrogen Opportunities and Challenges, 2021
- 16 A. Milbrandt; M. Mann: Hydrogen Potential from Coal, Natural Gas, Nuclear, and Hydro Power, Technical Report, NREL/TP-560-42773, February 2009
- 17 Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága: MAGYARORSZÁG ÁSVÁNYINYERSANYAG-VA-GYONA 2021. január 1.
- 18 Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal: Országos éves energiamérleg, 2021.