H2 - HIDROGÉN HÍRLEVÉL

A Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület hírlevele

Alapítva: 2011-ben. **2025/2. – június**

Tartalom

Újabb hidrogén(származék) árindexek – HYCLICX, EULAB 1

Üzemanyagcella-szektor stratégiái egy lassuló piaci környezetben 1

Hidrogén előállításának költségei az ACER elemzésében 5

FCEB buszok aránya az új, városi busz beszerzésekben az EU-ban 9

Japán támogatás hidrogénüzemű haszonjárművek üzemanyagára 11

Németországi H_2-offtake szerződés és működésbe lépő H_2-vezeték 12

Kritikus anyagok újrahasznosítási lehetőségei 13

Az Európai Hidrogén Bank második (2024/2025) aukciójának nyertesei .18

Rheinmetall hidrogéntechnológiai fejlesztések és gyártás 19

Kínai első hidrogénkorridorja és néhány egyéb, jelentős projekt 20

Bemutatkozó és geológiai H_2 23

Kiadja:

Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület

H-1023 Budapest
Levél u. 10.
www.hfc-hungary.org
info@hfc-hungary.org

Szerkesztő:
Mayer Zoltán

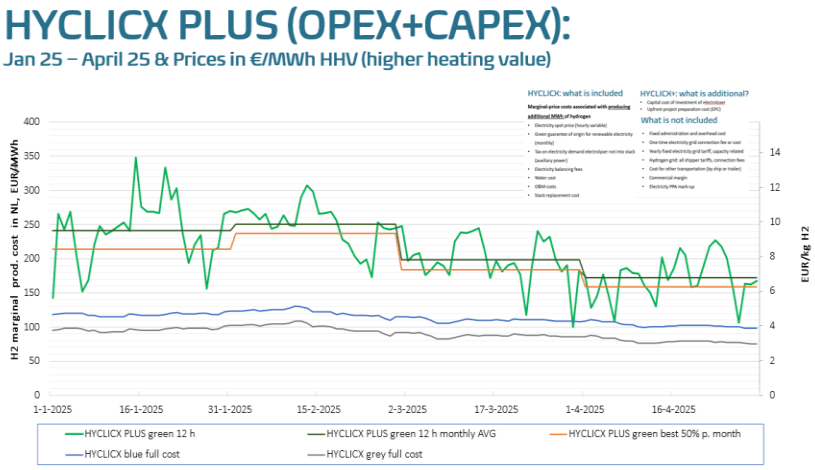
Felelős kiadó:
Dr. Tompos András

az MHT Egyesület
Hydrogen Europe tagja

Hydrogen Europe

Újabb hidrogén(származék) árindexek

A hidrogénhez vagy hidrogénszármazékokhoz kapcsolódó újabb és újabb árindexek jelennek meg a nemzetközi porondon. E lapszámban a HYCLICX és EULAB indexekről számolunk be. *Folytatás a 15. oldalon*



A HyClicx árindex értékének alakulása 2025 első hónapjaiban. Kép: hyxchange.nl/

Az üzemanyagcella-szektor stratégiái a lassuló piaci környezetben

Folytatjuk az előző lapszámokban megkezdett cikksorozatot, amelyben egyes kulcsfontosságú hidrogéntechnológiák gyártóinak stratégiáját mutatjuk be a lassuló, nehézségekkel teli piaci környezetben. A korábbiakban elektrolizáló-gyártókra fókuszáltunk, jelen cikkben egy másik nagy jelentőségű technológiára, főként a tüzelőanyagcella-gyártókra térünk ki.

A tüzelőanyag-cellák (TC) terén a Ballard az egyik meghatározó, több mint negyven éves múlttal rendelkező gyártó. Véleményük szerint az utóbbi egy-két év egyfajta rugalmassági, ellenállóképességi tesztnek fogható fel a cég életében. A nehéz időszak ellenére a gyártott tüzelőanyag-cellák száma 2024-ben imponáló mértékben, 29%-kal növekedett. Ez számszerűen azt jelenti, hogy 669 db TC-modult szállítottak le különböző ügyfeleknek. Az utóbbi öt évben a TC termékkínálat bővült, de a fő fókusz maradt az üzemanyag-cellás buszok piacán. A kanadai székhelyű Ballard eddig megközelítőleg 1,5 milliárd dollárt invesztált tüzelőanyagcella K+F tevékenységbe és működése megkezdése óta összesen kb. 1 GW kumulált kapacitású tüzelőanyag-cellát gyártott.

Tüzelőanyagcella-gyártás a Weichai-Ballard JV-nél. Kép: powerprogress.com

Folytatás a 2. oldalon.

Az üzemanyagcella-szektor stratégiái a lassuló piaci környezetben *(folytatás az 1. oldalról)*

Mindezek ellenére a vállalat 2024 őszére átfogó átalakítási folyamatba, átstrukturálásba kezdett a költségek csökkentése érdekében, mivel a korábbi előrejelzések ellenére a megrendelésállomány nem növekedett a megfelelő ütemben, pl. projektek felfüggesztése, visszalépések miatt. A strukturális változások vezérfonala az volt, hogy a Ballard megőrizze a PEM tüzelőanyagcella-technológiák kapcsán kiépített kompetenciáját, ami a cég egyik fő értékét és erősségét jelenti, ugyanakkor megőrizze hosszú távú pénzügyi egyensúlyát is. A költségek 30%-os visszaszorítását részben a munkavállalók számának csökkentésével, karcsúsított termékfejlesztési portfólióval érték el miközben a prioritásként kijelölt piacokra fókuszáltak. A költségvetési program jelentős részét 2024-ben megvalósították, de az idei évre is áthúzódik néhány intézkedés. Végeredményként moderált beruházás-intenzitást, optimalizált működési hatékonyságot és hosszútávú versenyképességet várnak.

A strukturális átalakulás túlmutat a költségcsökkentésen. A cég felülvizsgálja például Kína-stratégiáját is, főként a 2018-ban létrehozott Weichai-Ballard közös vállalat (WBJV) működését, mivel az alulteljesített a tervekhez képest. A közös vállalat létrehozásakor a Weichai cég 19,9%-os részesedést vásárolt a Ballardban, amelyhez egy 90 millió dollár értékű technológiai transzfer is kapcsolódott.

A WBJV-ben a Ballardnak kisebbségi (49%) részesedése volt, és bár az üzemanyagcellás teherautók és buszok piaca igen jelentősen fejlődött Kínában (a globális HDV FCEV járműállomány 85-95%-a itt található), a Ballard jelenléte mégis limitált maradt a régióban. Így állt elő az a helyzet, hogy 2024 első kilenc hónapjában a Ballard 45,4 millió dolláros bevételéhez csak 6%-kal járult hozzá a kínai piac, míg 67% Európából és 24% az USA piacáról származott. Még nem eldöntött, hogy a kínai közös vállalatot a Ballard bezárja-e vagy átstrukturálja, de az biztos, hogy a magasabb profittal és nagy stabilitással rendelkező piacokra fog fókuszálni.

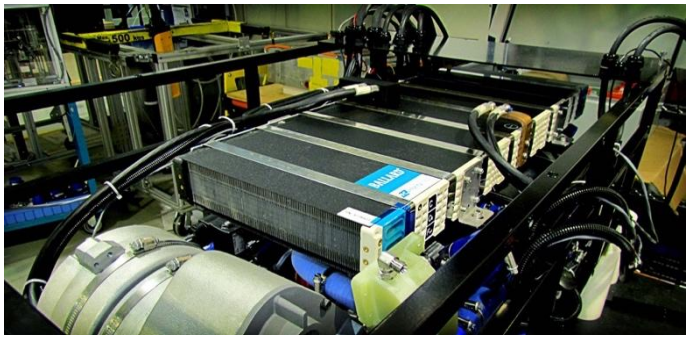
Illusztráció: kép: Ballard

A költségcsökkentések közepette a Ballardnak továbbra is egyik fő célkitűzése, hogy a cég üzemanyagcellás termékeinek további fejlesztése ne szenvedjen csorbát. A vállalati K+F tevékenységek fő fókuszterülete a következő generációs üzemanyagcella-rendszerek kifejlesztése. Az innováció eredményeként a cég FCmove®-XD üzemanyagcellája 60%-os csúcs-hatásfok értékkel és számottevően javított teljesítmény-sűrűséggel fog rendelkezni, ráadásul költségcsökkenést is várnak a terméktől. Utóbbi a végfelhasználói járművek, azaz buszok, teherautók, vonatok teljes tulajdonosi költségét (TCO) hivatott csökkenteni, mert ez járul hozzá leginkább az üzemanyagcellás hajtáslánc kereskedelmi életképességéhez, illetve a piaci adaptáció felgyorsításához.

Az igazán nagyléptékű gyártókapacitás kiépítésére, a tüzelőanyagcellás *gigafactory*-ra még várni kell. A Ballard az USA-ban, Texasban tervezett egy 3 GW/év kapacitású tüzelőanyagcella-gyárat, amelyhez a szövetségi költségvetésből 94 millió dollár támogatást is elnyert. A gyár megépítése, pontosabban az említett, több GW-os gyártókapacitás azonnali kiépítése viszont bizonytalanná vált. A végső beruházói döntést (FID, *Final Investment Decision*) a Ballard két évvel elhalasztotta, az eredetileg tervezett 2024-ről 2026-ra. Az említett és már megítélt szövetségi támogatás ezzel elvileg nem vész el, de a cégnek több ideje marad alaposabb piackutatásra, az üzemanyagcellák tényleges piaci adaptációjának kutatására az új piaci helyzetben mielőtt beindítaná a valódi tömeggyártást. Erre azért is szükség van, mert azóta a Trump kormányzat felfüggesztett bizonyos, hidrogénnel kapcsolatos támogatásokat, adókedvezményeket az USA-ban, így emiatt is sok a bizonytalanság.

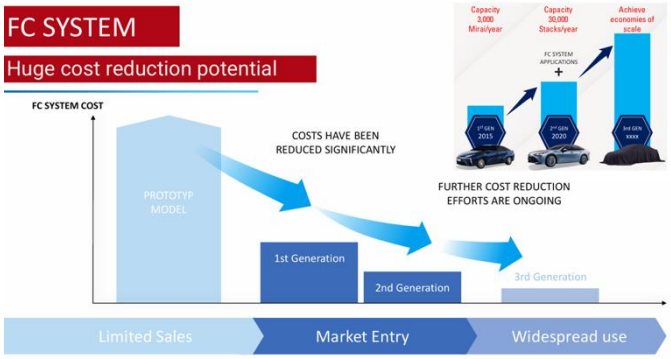
A jelenleg tapasztalható piaci fluktuációk mellett sincs a Ballard CEO-jának kétsége afelől, hogy az üzemanyagcellák alkalmazása terjedni fog főként a különböző mobilitási szegmensekben. Különösen a városi buszok, teherautók és vonatok esetében lát erős potenciált mivel az üzemanyagcellák itt a nagy hatótáv, a gyors tankolási idő, és a rugalmas használat miatt jó értékajánlatot nyújtanak az egyéb alternatív hajtásláncokkal szemben. A Ballard CEO-ja annak ellenére értékeli így a helyzetet, hogy az utóbbi két évben felerősödtek a kritikus hangok a hidrogénmobilitással kapcsolatban, mondván, hogy a hidrogén inkább az ipari célú alkalmazásoknak felel meg. A hidrogénmobilitás sikeres terjedéséhez nagyban hozzájárulhat a hidrogén „*hub*"-ok, vagy európai megnevezés szerint a Hidrogénvölgyek (H2V) fejlesztése. A hidrogénvölgyek és hidrogénkorridorok segítik az üzemanyagcellás technológiák adaptációját, mert ezek csökkentik, esetleg eltüntetik a H_2-töltőinfrastruktúra egyelőre nem kellően sűrű

hálózatából adódó nehézségeket, csökkentik a flottaüzemeltetők félelmeit a töltőállomások elérhetőségét illetően.



Illusztráció. Kép: Ballard

A hidrogénszektort, azon belül a mobilitást érintő nehézségek, a lassuló projektfejlesztések, a lassú piaci adaptáció és a pénzügyi nyomás ellenére az innováció viszonylag változatlan lendülettel halad, és ez más, neves gyártóknál is tapasztalható. 2025 februárjában a Toyota Motor bemutatta a legjelentősebb japán szakkiállításon harmadik generációs üzemanyagcelláját[1], amely 20%-kal nagyobb hatótávot ígér, mint a jelenleg elérhető, második generációs TC-vel felszerelt Toyota Mirai. Emellett az OEM az új generációs üzemanyagcella tartósságát illetően is azt közölte, hogy az is jelentősen megnőtt, kb. duplájára a második generációs TC-hez képest, és ezzel immár a dízel motorok élettartamával kerülhet paritásba. A gyártó a rendszer rugalmasságára is gondolt. A tüzelőanyagcella közúti, vasúti, tengeri járművekbe, továbbá telepített energiatermelő alkalmazásokba is beépíthető. Árnyalja azért a képet, hogy e harmadik generációs Toyota üzemanyagcella kereskedelmi léptékű gyártása csak 2026-2027-ben indul. A Toyota is számottevő költségcsökkenést vár az újabb generációs üzemanyagcellák esetében, amelyet a nagyobb mértékű piaci érettség, illetve a tömeggyártás eredményez. Az eddig tapasztalt és a 3. generációs



A Toyota által várt költségcsökkenés kvalitatív jelleggel az egyes FC-generációk esetében. Forrás: A. Szalek, Toyota Central Europe

TC-től várt további költségcsökkenést pontos számadatok nélkül, kvalitatív jelleggel, az arányok érzékeltetésével mutatja a mellékelt ábra.

A Toyotával kötött korábbi partnerségi megállapodások miatt a BMW üzemanyagcellás tervei is kapcsolódnak a japán gyártóhoz. A két cég közösen fejleszt egy 125 kW-os PEM üzemanyagcellát, amely 2028-tól kerülhet sorozatgyártásba.

A Honda szintén nemrég mutatott be egy 150 kW-os TC modult, amelynek sorozatgyártását 2027-től tervezik. A japán OEM szerint[3] az új üzemanyagcella 50%-kal lesz olcsóbb, miközben háromszor olyan tartós lesz, mint az előző generáció. A Honda 59,8% csúcshatásfokot és 0,5 kW/liter teljesítménysűrűséget ígér. Ezáltal az erőforrás 300 liter térfogatban fér el; a rendszer 250 kg tömegére vonatkoztatva pedig 0,6 kW/kg a teljesítménysűrűsége. A tervek szerint a gyártóüzem 2027-ben indulhat, kezdetben 30.000 db/év kapacitással. A hidegindítás viszonylag régen megoldott kérdés. A Honda -30 és +60 °C közötti környezeti hőmérséklet között ígéri a működőképességet, ami a praktikus, széleskörű használhatóság szempontjából igen kedvező. E széles hőmérséklet-tartománnyal előzi az akkumulátoros hajtásláncot ebben a vonatkozásban.

Illusztráció. Kép: Honda

Az innovációs sort folytatva meg kell említeni az AVL és a Red Bull Advanced Technologies 2024-es partnerségi megállapodását *ultra-high* teljesítménysűrűségű üzemanyagcellák fejlesztésére, amelyek a repülésben és versenyautókban használhatók. A korai tesztek azt mutatják, hogy igen jelentős tömegcsökkenést sikerül elérni, amely TC-stack szinten 6 kW/kg, rendszer szinten pedig 2 kW/kg teljesítménysűrűséget jelent. Ezzel a világ legjobb teljesítménysűrűségű PEM üzemanyagcelláit állítanák elő.

A kedvező hírek sora még folytatható lenne, de természetesen rossz hírek is vannak. Utóbbi kategóriába tartozik, hogy az akkumulátoros és üzemanyagcellás teherautók gyártását tervező, amerikai Nikola cég csődbe ment, és ugyancsak csődközeli helyzetbe került a norvég, elsősorban hajózási célú üzemanyagcellákat gyártó TECO-2030,

[1] Toyota Develops New Fuel Cell System: https://global.toyota/en/newsroom/corporate/42218558.html
[3] Honda Global: https://global.honda/en/hydrogen/download/images/Honda_FCmodule_flyer_Gen3_en.pdf

amely utóbbi az első európai üzemanyagcella *gigafactory* létesítését tervezte, és amelyről részletes cikkünk a 2023/2 lapszámban jelent meg.

Vegyesen érkeznek rossz és jó hírek a Bosch hidrogéntechnológiai fejlesztéseivel kapcsolatban. Üzemanyagcella téren leállították a dél-karolinai üzembe tervezett gyártósor kialakítását és egyelőre „jegelték" a szilárd-oxidos (SOFC) üzemanyagcella programot is. Az Egyesült Államokban e lépés helyi döntésnek tűnik. A vállalati közlemény szerint „újraértékelik a beruházást, amikor a regionális piaci kereslet megnő". Az SOFC-k esetében a Bosch az üzemanyagcellás erőművek európai szakpolitikai támogatásának hiányára hivatkozott. A döntés ugyanakkor egybeesett a Bosch azon elhatározásával, hogy inkább a PEM elektrolízis technológiája felé fordulnak. E területen a megerősített megrendeléseknek megfelelően lépésről-lépésre bővíti az elektrolízisgyártó kapacitását, mivel rugalmas, regionalizált gyártási stratégiát tervez, beleértve a lehetséges kínai gyártást is. Idén márciusban a Bosch 100 MW-os megrendeléseket jelentett be az 1,25 MW-os PEM Hybrion[2] elektrolizáló rendszerére, amelyet a bambergi üzemben fognak gyártani. A pontos kapacitásadatok meghatározása nélkül Carola Ruse, a *Bosch Electrolyser Solutions* üzletágának vezetője elmondta, hogy a vállalat jelenleg ki tudja elégíteni a kezdeti 100 MW-os kapacitást, és műszakváltások révén rugalmasan tud további igényeket is kezelni. Elmondta, hogy a Bosch inkább óvatosan és „fokozatosan" közelíti meg a gyártást, ellentétben más OEM-kel, amelyek agresszíven felfuttatták az elektrolizáló-gyártási kapacitást és most, a zöld hidrogén értékláncban a lassú kereslet és a túltelített piac miatt küzdenek. „Nem valósítottuk meg a 3 GW-os gyártási kapacitást" – mondta a Bosch illetékes vezetője –, „most telepítettük a kezdeti, kis volumenű gyártósorunkat, és csak a megrendelések beérkezése alapján fogjuk bővíteni a kapacitásunkat, amikor több projekt vonatkozásában is látjuk a nagyobb potenciált." E lépésre olyan jelentések közepette kerül sor, amelyek szerint a globális elektrolizáló-gyártókapacitás akár 61 GW-tal is meghaladhatja a jelenlegi keresletet. Ennek nagy részét a kínai termelés gyors bővülése teszi ki. Ruse szerint egyelőre az ügyfeleiken, azok hidrogénprojekt fejlesztési képeségein múlik, hogy a Bosch hogyan reagál. A cég most arra fogad, hogy a rugalmasság és nem a gyorsaság lesz a nyerő stratégia az elektrolizálók piacán, amely gyorsan fejlődik ugyan, de korántsem kiszámítható.

Szintén a pozitív fejlemények közé tartozik, hogy a *Clean Hydrogen Partnership* által társfinanszírozott

A Bosch Electrolyser Solutions vezetője, Carola Ruse egy PEM-elektrolizáló mellett. Kép: Bosch.

H_2Haul projekt keretében az Iveco még az év elején leszállított két „S-eWay" üzemanyagcellás teherautót a BMW részére. E projekt indulásáról még a 2019. decemberi H_2 Hírlevelünkben írtunk, mivel olyan jelentős cégek vesznek benne részt, mint például az *Air Liquide, a Bosch, a DHL, az Element Energy, az ElringKlinger, a Hydrogenics, az IVECO, a Powercell Sweden, vagy a VDL Enabling Transport Solutions*. Ez azért fontos, mert a projektben a teljes hidrogén-mobilitási értéklánc mentén megtalálhatók a jelentős iparági szereplők és ez nélkülözhetetlen a sikerhez.

Az üzemanyagcellás teherautók átadására Lipcsében került sor, egy a BMW által rendezett eseményen. A rendezvény betekintést nyújtott a hidrogén többcélú felhasználásába a BMW teljes értékláncában. Jelen esemény egyben a TEAL Mobility – a TotalEnergies és az Air Liquide közös vállalata – két korszerű hidrogén-töltőállomásának megnyitását is jelentette. Egyiket Lipcsében, a BMW gyár közelében, a másikat Hormersdorfban avatták fel, ami fontos lépés a H_2 logisztikához és a kereskedelmi szállításhoz szükséges infrastruktúra kiépítésében. A BMW a gyártásához kapcsolódó valós logisztikai feladatokra fogja használni a két Iveco S-eWay prototípust. Az üzemanyagcellás kamion közel 800 km hatótávolsággal, 20 perces tankolási idővel és 70 kg onboard hidrogén-tárolási kapacitással rendelkezik, 700 bar-os nyomáson.

A H_2Haul projekt keretében fejlesztett üzemanyagcellás Iveco teherautó. Kép: Iveco.com

[2] Bosch Hybrion: https://www.bosch-hydrogen-energy.com/pem-electrolysis/pem-elektrolysis-stacks/

Az átadott két IVECO S-eWay üzemanyagcellás teherautó része annak a 12 hidrogénüzemű nehéztehergépkocsiból álló flottának, amelyet az IVECO a H2Haul projekt részeként Európa három országában

Illusztráció. Kép: Iveco

(Németországban, Franciaországban és Svájcban) stratégiai fontosságú helyszíneken telepít a hidrogén-üzemanyagcellás teherautók jövőbeli életképességének demonstrálására.

Forrás:

H2-View Magazine: Resilience tested – Ballard's restructure to survive the hydrogen slowdown. Issue #61 / March 2025.

H2-View: Doubling down on innovation – How fuel cell makers are facing market headwinds. Issue #61 / March 2025.

H2-View: Bosch treads cautiously on electrolyser scale-up, tying growth to orders. 31 March, 2025.

IVECO Press Release: IVECO delivers two S-eWay Fuel-Cell trucks to BMW, marking the first units of the groundbreaking hydrogen-focused H2Haul project to hit the road.

H2Haul Project: www.h2haul.eu/

A hidrogén előállításának költségei az ACER elemzésében

Az ACER (*Európai Energiapiaci Szabályozók Ügynöksége*) jól ismert az energetika területén dolgozók körében. Egyéb tevékenységei mellett felügyeli az EU-s energiapiacokat, illetve értékeléseket ad ki az energia-infrastruktúrák vonatkozásában. Ez utóbbi eddig főként a villamosenergia- és földgáz-infrastruktúrákra terjedt ki. Tevékenyégét az ACER az európai hidrogénpiac irányába is kiterjeszti és ennek keretében jelent meg 2024 vége felé a *European hydrogen markets – 2024 Market Monitoring Report* című jelentése, amely fő forrásként szolgált jelen cikkhez. Itt most a hidrogén előállításának aktuális költségeit emeltük ki a jelentésből, azonosítva a fő költségkomponenseket, kitérve a jövőbeni várakozásokra, illetve a hidrogén szállításának költségeire.

ACER
European Union Agency for the Cooperation of Energy Regulators

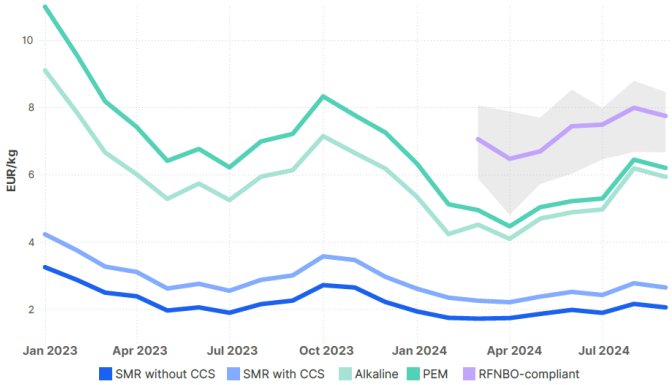
Jelenlegi hidrogén-előállítási költségek

A hidrogént egyes ipari létesítmények sok évtizede használják, de eddig a legtöbb nagy hidrogénfelhasználó a termelési folyamat részeként, a helyszínen állította elő és használta fel a hidrogént, vagy hidrogén-előállítóktól szerezte be azt, például a közeli vagy esetleg az azonos telephelyen működő ipari gázgyártótól. Ezután rövid elosztási útvonalon, kétoldalú megállapodás keretében jutott el a hidrogén a végfelhasználóhoz. Az ilyen kétoldalú megállapodások alapját képező kalkulációk, de különösen a hidrogén ára, általában nem nyilvános. Ezért a hidrogén likvid piacának hiányában a befektetők, szakpolitikai döntéshozók jelenleg leginkább az LCOH-t, vagyis a hidrogén kiegyenlített költségét (€/kg) *bottom-up* módszerrel történő számításokon alapuló becslésekkel határozzák meg. Ilyenkor költségalapú modelleket használnak, amelyek figyelembe veszik a különböző költségtényezőket (a beruházási és működési költségek vonatkozásában), és amennyiben lehetséges, az egyes projektekből vagy szerződésekből (pl. H_2 *offtake* vagy PPA) származó információkkal ellenőrzik azokat. Megjegyezzük, hogy elkezdtek megjelenni más árfeltáró módszerek is, pl. piaci alapú árindexek, amelyek közül az Európai Energiatőzsde (EEX) hidrogén árindexéről, a HYDRIX-ről 2024/3 H_2 Hírlevelünkben már írtunk.

A S&P egyik költségtanulmánya (*Standard and Poor's Global Commodity Insight*) alapján az 1. ábra mutatja a különböző technológiákkal előállított hidrogén költségeit. Látható, hogy a földgáz alapú SMR (szürke H_2) előállítási költsége 3 €/kg alatt volt 2023 eleje óta. Ehhez a széndioxid-leválasztás (CCS) valamivel kevesebb mint 1 €/kg költséget ad hozzá (ez lenne a kék H_2). Az ábrán láthatók még a lúgos és PEM elektrolizáló-technológiával, illetve a hálózatból vételezett villamos energiával és igen magas kapacitás-kihasználtsággal (95%) előállított, nem feltétlenül zöld hidrogént eredményező költségek, amelyek 6 €/kg körül alakultak 2024 szeptemberében. Ez nagy mértékben függ a villamos energia pillanatnyi árától. Az EU „zöld", pontosabban RFNBO státuszú hidrogént eredményező előállítási szabályrendszere ezt még viszonylag jelentősen, közel 8 €/kg értékre növeli. Összefoglalva, az elektrolízis alapú hidrogén költsége átlagosan 2-3-szor magasabb, mint a földgázból (SMR) előállított „szürke" hidrogéné, a megújuló (RFNBO) hidrogén költsége pedig 3-4-szer magasabb.

Az egyes technológiák költségtartományai nemcsak a különböző költség- és műszaki feltételezésektől,

hanem az alapul szolgáló termelési tényezők, azaz az SMR alapú előállítás esetében a földgáz és a CO_2-kibocsátási kvóták, az elektrolízis esetében pedig a villamos energia áringadozásától is függnek. Például, a földgáz árának 2023 közepe óta tartó csökkenése lenyomta az SMR-ből származó „szürke" hidrogén előállításának költségét, ezáltal növelve annak versenyképességét a megújuló alapú hidrogénnel szemben. Hasonlóképpen, a CO_2-kvóták árának jelenlegi, viszonylag alacsony szintje (2024-ben 52-76 €/t_{CO2} között ingadozott) tovább kedvez a szürke hidrogénnek a megújulóval szemben.



1. ábra: A hidrogén-előállítás költségei 2023-2024 között, különböző technológiák alkalmazása esetében. Forrás: ACER, S&P, 2024.

Fontos hangsúlyozni, hogy az SMR (földgáz) alapú, vagy az elektrolitikus, azaz a nagykereskedelmi piacon vásárolt villamos energiával előállított hidrogénnel ellentétben a megújuló (RFNBO) hidrogén általában a megújuló villamosenergia-termelőkkel kötött PPA megállapodásokra (*Power Purchase Agreement*) támaszkodik. Utóbbi esetben a hidrogén költsége a megújuló alapú villamosenergia-termelés költségétől függ (adott projekt szintjén a PPA-ba foglalt villamosenergia-ártól), nem pedig a nagykereskedelmi villamosenergia-áraktól, amely utóbbi viszont nagyrészt a földgáz, a szén és a CO_2-kvótaáraktól függ. Minél magasabb tehát ez utóbbi összetevőknek a költsége, annál versenyképesebbé válik a megújuló hidrogén a hagyományos, szürke hidrogénnel szemben.

Elektrolízis alapú, zöldhidrogén-előállítás költsége

A megújuló alapú hidrogén előállítási költségét két fő költségösszetevő, az elektrolizálók tőkeköltsége és a villamosenergia-ellátás költsége határozza meg. Az előbbi komponens technológia-specifikus és a technológia érettségétől, valamint az elektrolizáló-gyártás gazdaságosságától függ. A villamos energia költsége azonban projektspecifikus és nagymértékben függ az egyes projektek ellátási forrásától, valamint a szerződéses (PPA) megállapodásoktól.

Az elektrolizálók CAPEX költségeit illetően az ACER két, műszakilag és kereskedelmileg is érett technológiát vizsgál: a lúgos (alkálikus) és a PEM elektrolizálókat. Az anion-cserélő membrános (AEM) és szilárd-oxidos elektrolizálók (SOEL) még nem érhetők el valódi kereskedelmi léptékben. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2024-es adataira hivatkozva a lúgos elektrolizálókra 1.900 €/kW, a PEM-elektrolizálókra 2.300 €/kW fajlagos CAPEX költséget számol. Érdekesség, hogy ezek a fajlagos költségek kb. 20%-kal magasabbak, mint a megelőző évben, amit főként az inflációs nyomással és a késlekedő, vagy hiányzó állami támogatási programokkal magyaráznak. Az elektrolizálók drágulását a Bloomberg cikke[6] is megerősíti, de az már nem helytálló vélekedés, hogy a szűkös gyártói kapacitások érdemi szerepet játszanának a CAPEX drágulásában. A kínai gyártású elektrolizálók a fent megadottnál lényegesen olcsóbbak.

Az egyéb üzemeltetési és fenntartási költségkomponensek vagy nem jelentősek, vagy országspecifikusak. Ezek közül a hálózathasználat (*grid costs*) még fontos lehet, de igen széles tartományban szór: 6-60%-át teheti ki a nem háztartási végfelhasználók villamosenergia-költségének. Egy nagy-britanniai tanulmány (*UK's Department for Energy Security and Net Zero*) szerint az átlagos hálózathasználati díjak a nagyfelhasználók (20-70 GWh/év) számára az EU-ban átlagosan 6,5-20,4 €/MWh költséget tettek ki 2023-ban. Ez a hidrogén végső előállítási árában kb. 0,3-1,0 €/kg költségkomponenst jelent. Ugyanakkor a tagállamok hálózati tarifadíjai igencsak különböznek. Németországban például az elektrolizálók nem(!) fizetnek hálózathasználati díjat.

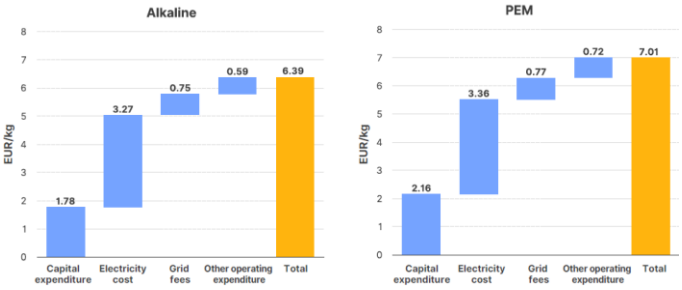
Fontos tényező az elektrolízis alapon előállított hidrogén kiegyenlített (LCOH) költségében az elektrolizálók kihasználtsága. Az ACER megállapította, hogy ha adott elektrolizáló CAPEX mellett a teljes kihasználási óraszámot (FLH) 4.000-ről 5.000 óra/év értékre növelnék, a hidrogén költsége 8-10%-kal csökkenhetne a villamos energia árától függően. Egyetlen időjárásfüggő megújulóenergia-termelő használata (vízerőművektől eltekintve) jellemzően még nem biztosít ilyen magas kihasználási óraszámot. A magasabb kapacitásfaktor elérése érdekében a közvetlenül magánvezetékről és/vagy PPA-n keresztül vételezett megújuló energiát elviekben kiegészítheti a hálózatról történő vételezés is, viszont ez a meglehetősen szigorú EU-s RFNBO-előállítási szabályok miatt a legtöbb tagországban még nem eredményez kellően magas arányban zöld (RFNBO)

[6] HydrogenInsight: Cost of electrolysers for green hydrogen production is rising instead of falling: BNEF. 4 March 2024

hidrogént. A magasabb csúcskihasználási óraszám nem csak a több, alkalmas megújuló energia rendelkezésre állásával érhető el, hanem pl. energiatárolást szolgáló akkumulátorok és/vagy hidrogéntároló beépítésével, amelyek miatt az elektrolizáló kapacitása kisebbre méretezhető. Ezek alkalmazása nagyfokú optimalizációs számításokat követel meg. Ugyanakkor ökölszabályként elmondható, hogy sikeres hidrogénprojektekben jellemzően 4.000-6.000 h/év között mozog a kihasználási óraszám. 3.000 h/év alatt a tőkeköltség dominánssá válik és az előállított zöld hidrogén (LCOH) költsége jelentősen megemelkedik. A villamosenergia-beszerzés struktúrája tehát döntő fontosságú a hidrogénprojektek életképessége szempontjából és új típusú PPA-k kezdenek kialakulni, amelyek nagyobb kiszámíthatóságot biztosítanak a termelési költségek vonatkozásában, ezáltal növelik a projektek bankképességét.

Az elektrolizálók egyéb üzemeltetési költségei közé tartozik pl. az ioncserélt víz előállítása és keringtetése, az előállított hidrogén további kezelése (jellemzően víztelenítés, tisztítás, De-Oxo kezelés – ha szükséges) és a hűtőrendszer üzemeltetése. Az elektrolizáló stack-ek degradációs sebessége[4] és a stack-csere költsége sem elhanyagolható üzemeltetési költség, de arányaikban ezek lényegesen kevesebbet nyomnak a latban.

2024 végére már rendelkezésre álltak az Európai Hidrogénbank első (EHB, 2023/2024) zöld hidrogén aukciójának elemzései. Az aukciók abból a szempontból is igen hasznosak, hogy feltárják a hidrogénárakat, amelyeket a projektfejlesztők ajánlati árként benyújtottak. Az első EHB aukció alapján a hidrogén LCOH költsége 5,3-13,5 €/kg tartományban mozgott. Energiaegységben kifejezve ez 173-403 €/MWh. E költségtartomány az árverésbe bevont projekteket jellemzi és regionális, technológiai és egyéb projektspecifikus paramétereket (pl. finanszírozási megállapodás) is tükröz. A 2. ábra az elektrolitikus úton előállított H_2 tipikusnak tekinthető költségszerkezetét mutatja be lúgos és PEM elektrolizálók esetében, a lent megadott peremfeltételek mellett. Nem meglepő, hogy a tipikus feltételezések szerint az LCOH költség legnagyobb részét a villamos energia költsége teszi ki, míg a második legfontosabb költségkomponens a tőkeköltség.



2. ábra: Hidrogén (LCOH) költségstruktúra alkálikus és PEM elektrolizálók esetében. Peremfeltételek: 4.000 h/év kihasználási óraszám, 60 €/MWh villamosenergia-ár, 14 €/MWh hálózathasználati díj, nincs adótartalom a villamos energián. Forrás: ACER, S&P, 2024

Privát, szerkesztői megjegyzés, illetve kritika, hogy a fent bemutatott modell nem mutatja be, nem ad információt arról az opcióról, amikor a hidrogénelőállítás a villamosenergia-rendszerrel együttműködésben történik és a hidrogénelőállítás rendszerszintű szolgáltatások nyújtása révén bevételt (negatív költséget) is generál. Ez reális, sőt kívánatos lehetőség, a forrás mégsem tesz róla külön említést.

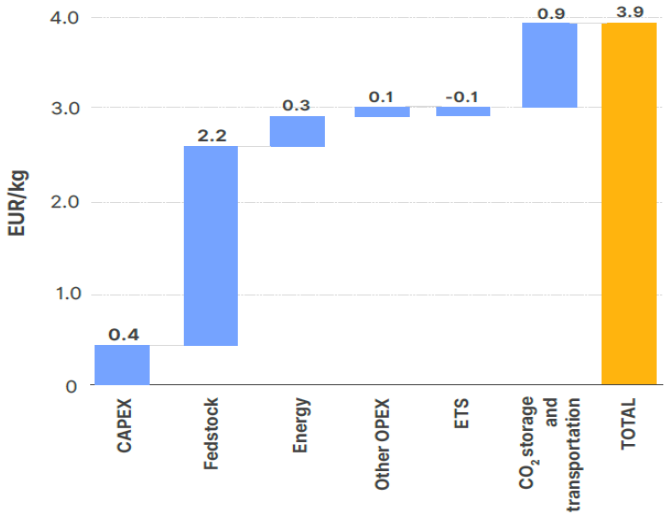
Földgáz (SMR+CCS) alapú *low-carbon* hidrogén-előállítás költsége

Az alacsony karbonintenzitású, *low-carbon* hidrogén előállítható földgáz gőzreformálási (SMR) eljárással, amelyhez CO_2-leválasztási és tárolási (CCS) technológia kapcsolódik. Ahhoz, hogy jogszabályi értelemben low-carbon hidrogénnek minősüljön, a teljes üvegházhatásúgáz-kibocsátásnak legalább 70%-kal alacsonyabbnak kell lennie a hagyományos eljáráshoz (*benchmark* értékhez) képest. A low-carbon hidrogén költsége nagymértékben függ a földgáz árától, valamint a CO_2-leválasztás és tárolás (CCS) költségeitől.

2024-ben az ACER szerint Európában kb. 1,5-2 €/kg volt az SMR-alapú szürke, azaz CCS-t nem alkalmazó (*unabated*) hidrogén előállítási költsége. Ugyancsak a S&P *Global Commodity Insights* vizsgálatai alapján ezt kb. 20-50%-kal növeli meg, ha CCS megoldást alkalmazva low-carbon (vagy „konyhanyelven" kék) hidrogént állítanak elő. A 3. ábra a low-carbon hidrogén-előállítás költségstruktúráját szemlélteti, amely földgázalapú ATR (*autothermal reforming*) + CCS előállítási eljárást feltételez. Látható,

[4] Az elektrolizálók degradációs rátája a rajtuk átfolyt áram (kumulált) mennyiségétől függ. Minél több üzemórát működik egy stack, annál inkább csökken a hatásfoka, csökkentve a gazdasági élettartamot. Az *Oxford Institute for Energy Studies* egyik tanulmánya alapján a lúgos elektrolizáló stack-ek élettartama 60.000-100.000 óra közötti, míg a PEM-ek esetében jellemzően 50.000–90.000 óra. Ugyanakkor a lúgos elektrolizálóknak lassabb a válaszideje a változó input villamos teljesítményre, ezért az időjárásfüggő megújuló energiaforrásokhoz valamivel kedvezőtlenebb módon illeszthetők.

hogy domináns a szükséges *„feedstock”* földgáz-árból fakadó költség-komponens, de szintén jelentős a széndioxid kezelésének (pl. szállítás, tárolás) költsége is[5].



3. ábra: Földgázalapú low-carbon hidrogén-előállítás költségstruktúrája. Forrás: ACER, S&P, 2024
*Peremfeltételek: CAPEX 900 €/kW; földgáz ár: 40 €/MWh, átlagos gázhálózat-használati díj: 5 €/MWh; villamos energia ár: 80 €/MWh plusz hálózati díj: 29,3 €/MWh; működési költség: CAPEX *3,5%/év; CO_2 leválasztási hatásfok: 94%; tárolás és szállítás költsége: 100 €/t; gazdasági élettartam: 20 év; éves üzemóra: 8.000 h/év.*

A fenti ábrákról látható, hogy az SMR+CCS technológiát alkalmazó low-carbon („kék”) hidrogén költsége számottevően alacsonyabb, mint a megújuló alapú (RFNBO) hidrogéné, ami sok vitát váltott ki az utóbbi években. A markánsan „zöld vélemények” természetesen csak a zöld (elektrolízisalapú és megújuló energiát használó) előállítást fogadnák el, de ahogy azt fent már láttuk, ez számottevően drágább, másrészt a korábbi feltételezésekhez képest jóval lassabban valósulnak meg a zöld hidrogén projektek. A megengedőbb vélemények a low-carbon hidrogént is jónak tartják, különösen a piac korai fázisában, amikor a piac felfuttatására, méretnövelésére van szükség, és ezen idő alatt a zöld hidrogén előállítási költsége is versenyképesebbé válhatna. Ugyanakkor 2025 tavaszán elérhetővé vált a low-carbon hidrogén előállítását, pontosabban az üvegházhatásúgáz-kibocsátás számításának részletszabályait tartalmazó felhatalmazási rendelet (*Low-carbon Hydrogen Delegated Act*) tervezete. Ez rendkívül szigorú feltételeket fogalmaz meg. Erősen leszűkítené a földgázalapú low-carbon hidrogénprojektek lehetőségét, de még a metán-pirolízist is. Jelen cikk lezárásakor a rendelet hivatalosan még nem jelent meg, de publikálását követően külön fogunk vele foglalkozni.

A H_2-előállítási költségek középtávú perspektívái

Az ACER eredő hatásként a hidrogén költségének jövőbeni csökkenésére számít, de a csökkentő tényezők mellett, ellentétes, azaz költségnövelő tényezőket, kockázatokat is megnevez.

Ahogy a fentiekből látható, az egyik fő költségkomponens az elektrolizálók CAPEX költsége. E téren a költségcsökkenést a gyártási folyamatok további optimalizálásával, szabványosításával, az anyagköltségek mérséklésével, az anyagokkal és a tervezéssel kapcsolatos innovációval, valamint a méretgazdaságosság kihasználásával vélik elérhetőnek. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2024-es, *Global Hydrogen Review* jelentése szerint az alkalikus és PEM elektrolizálók átlagos tőkeköltsége 2030-ra 40–50%-kal csökkenhet a jelenlegi szintről, feltéve, hogy a világszerte bejelentett projektek megvalósulnak, ami jelentős méretgazdaságosságot eredményezhet. Az AEM (anioncserélő-membrános) és SOEC (magas hőmérsékletű) elektrolizáló-technológiák kereskedelmi forgalomba kerülése is várható középtávon, ami új lehetőségeket kínál a megújuló hidrogén előállítási költségeinek csökkentésére.

A megújuló alapú hidrogén-előállítás másik meghatározó költségtényezője az input villamos energia, melynek fajlagos költsége technológiánként és földrajzi hely szerint változik. Az IRENA (*Nemzetközi Megújuló Energia Ügynökség*) adatai szerint Németországban a szárazföldi szélerőművek esetében ez körülbelül 55 €/MWh, ami hasonló az offshore (tengeri) szélerőművek 54 €/MWh értékéhez, míg Spanyolországban a fotovoltaikus (napelemes) megújuló villamos energia körülbelül 43 €/MWh költségen elérhető. Számos tanulmány szerint még a már kiforrott technológiák – például a fotovoltaikus rendszerek és a szárazföldi szélerőművek – esetében is jelentős költségcsökkentési potenciál rejlik a jövőben. Amennyiben ezek a várakozások megvalósulnak, a megújuló hidrogén előállítási költsége is érdemben csökkenhet. A várakozások szerint a likvidebbé és fejlettebbé váló PPA-piac szintén hozzájárulhat a termelt villamos energia költségeinek mérsékléséhez, és megkönnyítheti a projektek finanszírozását – különösen, ha azt állami garanciákat nyújtó programok is támogatják. Ezek megint csak a kedvezőbb jövőbeni H_2 költségekhez vezetnek.

A hidrogén költségcsökkentő tendenciáit tovább erősítheti, ha az akkumulátoros energiatárolók költségei is tovább esnek, mivel ezek beépítése egy-egy

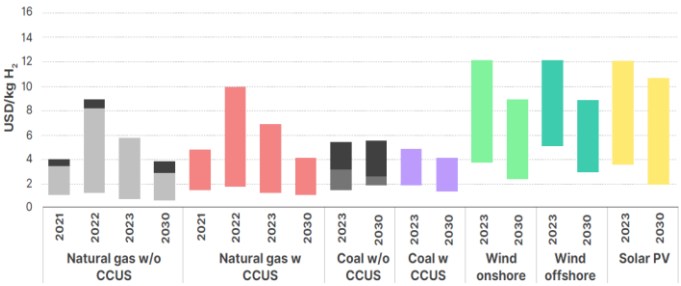
[5] E ponton meg kell említeni, hogy ténylegesen működő, ipari léptékű CCS-sel kiegészített hidrogénüzem még alig működik a gyakorlatban, emiatt e költség-komponens főként feltételezésekre épül és tág tartományban változhat.

hidrogén-projektbe az elektrolizálók magasabb kapacitásfaktorának eléréséhez járul hozzá. Az elektrolízis melléktermékeként keletkező oxigén és hulladékhő értékesítése szintén javíthat a költségviszonyokon. Ugyanez igaz arra az esetre, ha a villamos energia rendszerrel együttműködésben, kiszabályozási szolgáltatásokat is tud nyújtani az elektrolízis alapú hidrogénelőállítás, ami további bevételt (*additional revenue stream*) tud biztosítani.

A fent vázolt tényezők miatt racionális alapon költségcsökkenés várható ugyan, de egyéb tényezők akár felfelé is tolhatják az elektrolizálók tőkeköltségeit. Ezek közé tartoznak olyan makrogazdasági szempontok, mint az infláció, amely az elmúlt években megnövekedett, vagy a Kínából importált termékekre, köztük az elektrolizálókra vonatkozó, uniós szinten bevezetett esetleges korlátozások. A legutóbbi időszakban kibontakozó globális vámháború, egyes kritikus nyersanyagok kapcsán felmerülő korlátozások és piacfelosztás egyelőre teljesen még fel sem mért negatív hatásokhoz vezethet. Az ilyen fejlemények nyomást gyakorolhatnak az egyes hidrogénprojektek és állami támogatási rendszerek tervezett költségvetésére, ami a hidrogén projekt *pipeline* jelentős csökkenését eredményezheti.

A fentiek mellett a low-carbon hidrogén előállítási költsége is csökkenhet, ha a CCS-technológia (*Carbon Capture & Storage*) a szabványosítás, az optimalizálás és a méretnövelés következtében kiforrottá válik. A cseppfolyósított földgáz (LNG) globális ellátási kapacitásával kapcsolatos legújabb fejlemények azt jelzik, hogy az évtized második felére a földgázárak ingadozása Európában valószínűleg korlátozott lesz. Mindez fenntarthatja a low-carbon hidrogén versenyképességét a megújuló (zöld) hidrogénnel szemben, ami viszont az ipar és egyes tagállamok részéről bizonyos érdeklődést vált ki a piac beindítása iránt. Ugyanakkor a CO_2 kibocsátási egységek magasabb (ETS) árai javítják a megújuló és a low-carbon hidrogén gazdaságosságát a hagyományos, szürke hidrogénnel szemben.

Mindezeket a költségcsökkentő és költségnövelő tényezőket egybevetve az ACER tanulmánya a 2030-ig várható hidrogén-előállítási költségeket illetően az IEA *Global Hydrogen Review 2024* tanulmányát idézi, amelyet a 4. ábra mutat be. Fő konklúzióként megállapítható, hogy 2030-ig a megújuló alapú (zöld) hidrogén költségtartományának alsó és középső része (*low to mid-end of cost range*) felveheti a versenyt a hagyományos, „szürke" hidrogénnel. A potenciális költségtartományok főként a megújuló hidrogénformák esetében – érthető módon – meglehetősen szélesek.



4. ábra: Hidrogén-előállítási költségek jelenlegi és 2030-ban várható értékei. Forrás: IEA, 2024.

Arról sem szabad megfeledkezni, hogy a különböző H_2-előállítási technológiák által felhasznált erőforrások elérhetősége és megfizethetősége, a kormányzati szakpolitikákkal és ösztönző rendszerekkel együtt rendkívül erősen befolyásolhatják az árképzést, sőt gyakorlatilag meghatározhatják az egyes előállítási technológiák versenyképességét az alternatívákkal szemben. Ez különösen a hidrogénpiac korai, felfutási fázisára jellemző. Adott esetben a szakpolitikai intézkedések részének tekinthetjük a villamosenergia- és gázhálózatokhoz való hozzáférés díjait (*grid fees*), az adók mértékét, amelyek szintén jelentős hatással vannak a hidrogénelőállítás költségére.

Forrás:

ACER (2024): European hydrogen markets - 2024 Market Monitoring Report.

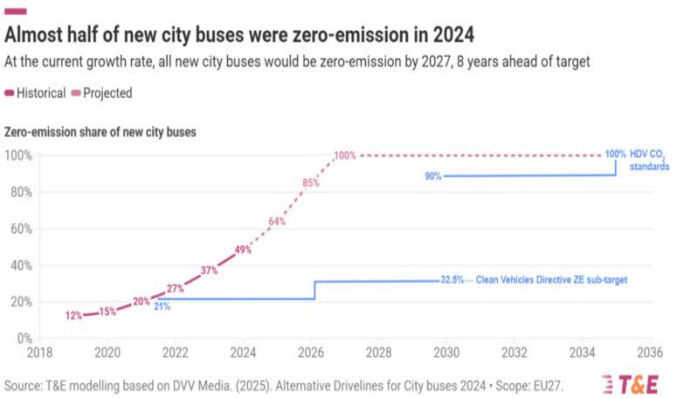
Üzemanyagcellás buszok aránya az új, városi busz beszerzésekben az EU-ban

A hidrogén-üzemanyagcellás járművek szegmensében a személyautó eladások lassultak ugyan, de viszonylag sikeres és már a statisztikákban is látható és értékelhető nagyságrend az új üzemanyagcellás buszok (FCEB, *Fuel Cell Electric Bus*) megjelenése Európában. Az [1] forrás szerinti tanulmány, illetve adatbázis alapján 2024-ben az új eladott városi buszok 3%-a volt FCEB az Európai Unióban. A tavalyi évben három tagállam szerezte be a legtöbb FCEB buszt: Németország (9%) és Lengyelország holtversenyben Spanyolországgal (5-5%). E felmérésben, ha nem csak a legutóbbi évet, hanem a 2021 és 2024 közötti időszak átlagát nézzük, akkor Hollandia vezet. Ezekben az években itt vásárolták a legtöbb tüzelőanyag-cellás városi buszt. Az FCEB beszerzési részarány 7%-ot tett ki. Összességében 2023-hoz képest a hidrogénüzemű üzemanyagcellás városi buszok európai piaci részesedése 2024-ben megkétszereződött és ezzel megközelítette az említett

3%-os részarányt.

Ha szélesebb technológiai kitekintésben vizsgáljuk a kérdést, akkor az látható, hogy az Európai Unióban 2024-ben az újonnan értékesített városi buszoknak már csaknem a fele (49%) tiszta, nulla (lokális) emissziós hajtásláncú busz volt. Valószínűleg nem meglepő, hogy az üzemanyagcellás buszok immár érzékelhető léptékű terjedése mellett továbbra is az akkumulátoros elektromos (BEV) hajtásláncú modellek dominálják az új buszpiacot, 46%-os részesedéssel. A tagállami Energia- és Klímatervekben (NEKT) kijelöltnél is gyorsabban cseréli le régi, jellemzően dízelüzemű városi buszait Európa legtöbb országa. Ha az utóbbi években tapasztalt növekedési ráta nem csökken, akkor 2027-ben elvileg már kizárólag kibocsátásmentes új városi buszokat értékesítenének majd az EU-ban.

A fenti ábra két kék színű vonala, illetve felirata azt is szemlélteti, hogy az uniós városibusz-piac gyorsabban tolódik el a nulla kibocsátású modellek felé, mint ahogy azt az uniós tiszta járművek irányelv (CVD, *Clean Vehicles Directive*), illetve a teherautók és buszok számára előírt széndioxid-kibocsátási rendelet (*HDV CO_2 Emission Regulation*) megkövetelik. A nulla lokális kibocsátású technológiák mellett a többi alternatív hajtáslánc részesedése viszonylag alacsony szinten maradt: a hibrid városi autóbuszok értékesítése a piac 16%-át, a gázüzemű buszok pedig 14%-át tették ki.



Zéró (lokális) emissziójú buszok arányának alakulása az EU új városi busz beszerzéseiben. Forrás: Transport & Environment, 2025

HIRDETÉS

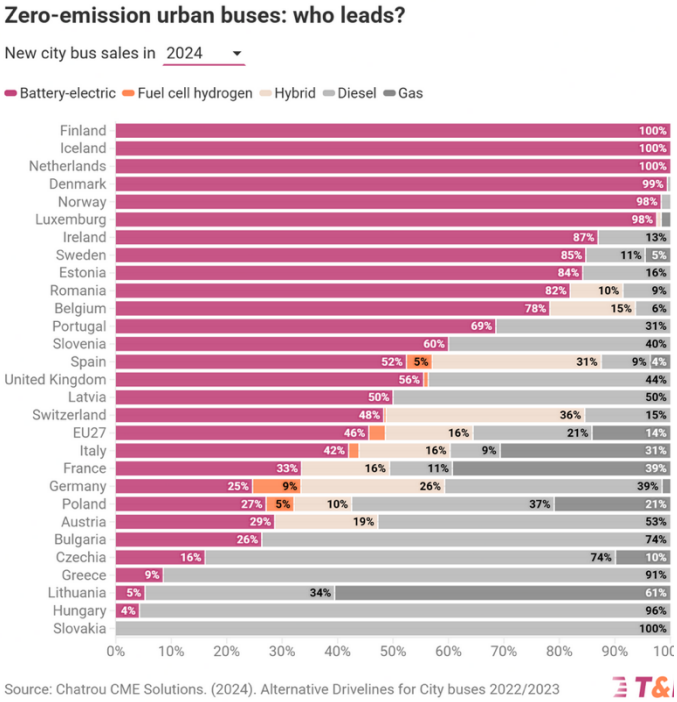
Amennyiben cége hidrogéntechnológiai terméket vagy szolgáltatást szeretne reklámozni H_2 Hírlevelünkben, kérjük lépjen kapcsolatba velünk a címlapon található e-mail címen és kérje hirdetési ajánlatunkat.

A következő ábráról egyebek mellett az is látható, hogy a viszonylag kis buszpiaccal rendelkező, északi országok tekinthetők éllovasnak a zéró emissziós új városi busz beszerzések terén. Itt akár 85%-ot is meghaladó ZEV beszerzési arány volt tapasztalható 2024-ben. A mi szempontunkból kedvezőtlen hír, hogy 2024-ben meglehetősen alacsony volt a zéró emissziós buszok beszerzési aránya Magyarországon, mindössze 4%. Ráadásul a hazai, időszakos FCEB demó projekten kívül hidrogénüzemű buszbeszerzés még nem is volt, hiszen csak a közbeszerzési eljárás lefolytatására került sor eddig. Ugyanakkor e téren voltak hazánk esetében is jobb évek, például 2022 és 2023, amikor is 10%, illetve 11% volt a ZEV buszbeszerzési arány a T&E adatbázisa [1] alapján.

Ábra: zéró (lokális) emissziójú és egyes egyéb alternatív üzemanyagú új városi buszok beszerzési aránya 2024-ben az EU-ban.

Forrás:

[1] Transport & Environment (2025): Half of new EU city buses were zero-emission in 2024.



Forrás: Transport & Environment, 2025.

Japán támogatást vezet be a hidrogénüzemű haszonjárművek üzemanyagára

A japán kormány az üzemanyagcellás teherautók és buszok hidrogén-üzemanyag költségeire támogatást vezetne be. Az idézett forrás szerint 700 jent (4,82 dollár) kilogrammonként.

Az ösztönzőt azért tartják fontosnak, hogy segítsenek áthidalni a hidrogén és a hagyományos dízel üzemanyag közötti árkülönbséget. Az új támogatás (4,8 $/kg$_{H2}$) az árkülönbözetnek legfeljebb 75%-át fedezi. A támogatást a hidrogén-töltőállomások üzemeltetői kapják, hogy ellensúlyozhassák a hidrogén magasabb költségét. Cserébe az üzemeltetők kötelesek a megtakarítást az ügyfeleknek továbbadni, csökkentve a támogatásra jogosult haszongépjárművek (buszok, teherautók) tankolási költségét.

A Gazdasági, Kereskedelmi és Ipari Minisztérium (METI) azt tervezi, hogy Japán hat közigazgatási régiójában *(Tokió, Kanagava, Fukusima, Aicsi, Hiogo, és Fukuoka* prefektúrákban, valamint környezetükben) biztosítaná ezt az ösztönzőt a hidrogénüzemű haszongépjárművek számára. Az érintett régiók kijelölése az alapján történt, hogy hol valószínűsíthető erős helyi kereslet a hidrogén-üzemanyag iránt és hogy a regionális vagy helyi kormányzatok részéről is várható-e támogatás a hidrogénmobilitás területén. Aicsi prefektúra például már elkötelezte magát, hogy 2030-ig 7.000 hidrogénüzemű teherautót és autóbuszt állít üzembe, ezért is szerepel az országos szintű tervben az

FCEB helyijáratos busz Tokióban. Kép: MHTE

egyik támogatási helyszínként.

Míg a korábbi kormányzati kezdeményezések főként az FCEV járművásárlási költségek csökkentésére és a hidrogén-töltőállomások építésére összponto-sítottak, az új stratégia középpontjában az említett kulcsfontosságú régiókban található 90 töltőállomás

hidrogénüzemanyag-támogatása áll. A cél a hidrogén-fogyasztás növelése, a tankolási költségek csökkentése a végfelhasználónál és az üzemanyagcellás járművek (FCEV-ek) szélesebb körű elterjedésének ösztönzése.

A hidrogénmobilitási és technológiai piacon tapasztalható nehézségek, globális bizonytalanságok ellenére Japán úgy tűnik továbbra is elkötelezett hidrogénfejlesztési törekvései mellett. Az ország egyik pénzügyi óriása, a *Sumitomo Mitsui Banking Co.* (SMBC) sem hátrált meg. Az SMBC fenntarthatósági igazgatója szerint Japán nem engedheti meg magának, hogy lemondjon a hidrogénről. Bízik a technológiai és szakpolitikai fejlődésben, és a hidrogén előállítási költségeinek jövőbeni csökkenését jósolta, ami segíteni fogja a szélesebb körű bevezetést.

Forrás: NIKKEI Asia: Japan rolls out fuel subsidy for hydrogen trucks. 2025.05.19.

Utasokra várakozó Toyota SORA üzemanyagcellás busz Tokióban. Kép: Fuel Cells Works

SMBC Group: Investment in and Management of Japan Hydrogen Fund. Press Release, 2024.09.12.

Németországi H_2-offtake szerződés és működésbe lépő H_2-vezeték

Ellentétben a szándéknyilatkozatokkal, amelyek szép számmal jelentek meg az utóbbi években a hidrogénszektorban, a jogi erővel bíró felvásárlási szerződések (*offtake agreements*) képezik a hidrogénprojektek sikerének egyik kulcsfontosságú elemét. Az egyik ilyen jelentős, az európai piacon megkötött hidrogénfelvásárlási szerződés a TotalEnergies és az RWE között jött létre idén tavasszal. Ennek keretében az RWE lingeni elektrolízis üzeme 15 éven át 30.000 tonna/év mennyiségű zöld hidrogénnel látja el a TotalEnergies szász-anhalti finomítóját. A francia olajipari nagyvállalat ezt a hidrogénmennyiséget 2030-tól leunai finomítójában fogja felhasználni a jelenleg is használt szürke hidrogén egy részének kiváltására.

Az RWE „*GET H2 Nukleus*" nevet viselő projektje a lingeni gáztüzelésű erőműben jelenleg építés alatt áll, miután tavaly nyáron megszületett a végleges beruházási döntés. Itt 200 MW PEM elektrolizáló (ITM) és 100 MW lúgos elektrolizáló (Sunfire) működik majd a jövőben, és az összesen 300 MW elektrolízis alapú előállításhoz a szintén az RWE tulajdonában és üzemeltetésében álló Gronau-Epe-i hidrogéntároló is csatlakozik. Az elektrolizáló rendszer a tervek szerint 2027-re elkészül, de az *offtake* szerződés csak 2030-tól hatályos, így nem világos, hogy addig hova, illetve kinek szállítják majd a megtermelt hidrogént.

Ez az ügylet abból a szempontból is érdekes, hogy az elektrolízis üzem és a finomító meglehetősen nagy távolságra van egymástól, így a tervezett német hidrogénvezeték-hálózat (*German Hydrogen Backbone*) 600 km-es szakaszán keresztül szállítják a zöld hidrogént. H_2 Hírlevelünk 2024/4 lapszámában írtunk részletesebben az összesen 9.000 km hosszúságúra tervezett jövőbeni német hidrogénvezeték-hálózatról, és arról, hogy ezt a német *Federal Network Agency* 2024 őszén jóváhagyta. A tervezett hálózat részét képezi az a vezetékszakasz, amely az egyik elsőként valósul meg Leuna és Lingen között.

A TotalEnergies más ügyfelektől is vásárol, illetve szeretne vásárolni hidrogént. A francia olajcég 2023-ban összesen 500 ezer tonna/év zöld hidrogén beszerzésére írt ki tendert. Ezt a mennyiséget különböző európai finomítóiban használja majd fel ambiciózus dekarbonizációs programja részeként. Ennek köszönhető, hogy a leunai finomító egy viszonylag „kicsi", 30 MW-os elektrolizáló üzemből is vásárol zöld hidrogént, ami a Lipcse melletti Bad Lauchstädt Energy Parkban található.

A hidrogénvezeték üzembe állítási ceremóniája. Kép: ONTRAS

Innen 2.700 t/év zöld hidrogén érkezik, amikor az üzem – várhatóan – 2025 végére elkészül. E projektet az Uniper, a Terrawatt, az Ontras (német gázhálózat-üzemeltető) és a VNG valósítja meg, miután még 2023-ban megszületett a végső döntés a 210 millió eurós beruházásról. Az itt létesülő 25 km hosszú hidrogénvezetéket korábbi földgázvezetékből alakítottták át, ahogy ez egyébként a teljes németországi H_2 gerinchálózat nagyobb része esetében is várható.

E viszonylag rövid hidrogénvezeték-szakasz azért fontos, mert a megfelelő átalakítás megvalósult, sőt már fel is töltötték hidrogénnel, hogy a tesztüzemet, tesztüzemi vizsgálatokat elvégezhessék. Lényegében ez az első vezetékszakasz, amelyet földgázvezetékből alakítottak át, és amely hidrogénszállításra hitelesített vezeték lett, sőt, meg is kezdte működését idén áprilisban.

Forrás:

Oil & Gas Journal: TotalEnergies secures green hydrogen for Leuna refinery. March 13, 2025.

fuelcellsworks (FCW): ONTRAS Launches 25 km Green Hydrogen Pipeline to TotalEnergies Refinery in Germany. (April 8, 2025)

Kritikus anyagok újrahasznosítási lehetőségei hidrogéntechnológiákból

E cikk keretében kulcsfontosságú hidrogéntechnológiákkal, azokon belül is főként a nemesfémek és membránok újrahasznosításának kérdésével foglalkozunk. Tesszük ezt egyrészt az újrahasznosításra irányuló EU-s pályázati kiírások áttekintése alapján, majd e téren megvalósított konkrét projekt, illetve konkrét vállalati megoldások bemutatásával.

Az EU dedikáltan hidrogén és hidrogéntechnológiák innovációját és demonstrációját szolgáló *Clean Hydrogen Partnership* pályázati kiírásaiban gyakorlatilag minden évben megjelent valamilyen újrahasznosításra, kritikus nyersanyagok visszanyerésére, ökológiai szempontú terméktervezésre vonatkozó téma is. A 2020 és 2025 közötti időszakból kiemelünk néhányat, mert a legtöbb esetben már a kiírás címe is tájékoztató jellegű a fő fejlesztési irányokat illetően:

- 2025 (HORIZON-JU-CLEANH2-2025-05-01): Ionomer membrán és irídium szimultán újrahasznosítása
- 2024 (HORIZON-JTI-CLEANH2-2024-05-01): Útmutatók eleve fenntarthatónak tervezett rendszerekre a hidrogén értékláncokban
- 2024 (HORIZON-JTI-CLEANH2-2024-05-02): Fluormentes komponensek kifejlesztése üzemanyagcellákhoz és elektrolizálókhoz
- 2023 (HORIZON-JTI-CLEANH2-2023-05-01): Egyes H_2 üzemanyagcellás termékek csoportjaira végzett, pilot jellegű, termék környezetilábnyom-meghatározás
- 2022 (HORIZON-JTI-CLEANH2-2022-07-01): Elektrolizálók és tüzelőanyag-cellák kritikus anyagainak fenntarthatósági vonatkozásai
- 2020 (FCH-04-4-2020): Meglévő és újszerű újrahasznosítási (*recycling*) technológiák fejlesztése és validációja a legfontosabb FCH termékekhez
- 2020 (FCH-04-3-2020): Ökodizájn tervezési útmutató fejlesztése H_2- és tüzelőanyagcella-technológiákhoz
- 2020 (FCH-04-5-2020): Tüzelőanyagcellás- és hidrogén-technológiákra vonatkozó Életciklus Fenntarthatósági Elemzés útmutatók kidolgozása

Ha valaki bele szeretné ásni magát a konkrét témákba, az *EU Funding & Tenders Portal*-on részletesen utána tud nézni a konkrét kiírásokban feltüntetett és a nyertes pályázóktól elvárt kulcsindikátoroknak (KPI). Gyakran előfordul, hogy a kiírás az újrahasznosítási arányokat is előírja. Például a legutóbbi, 2025 januári pályázatban, amely membránok és irídium egyidejű hasznosítására vonatkozik, a következő KPI-okat kell elérni a pályázat megvalósítása során:

- a platinacsoport fémeit (PGM) illetően (de a platinát kivéve) minimális visszanyerési arány scrap-ből és hulladékokból 30% 2024-ben[11] és 50% 2030-ra
- az ionomer membrán minimális visszanyerési aránya scrap-ből és hulladékokból $70\%_{2024}$ és $80\%_{2030}$
- újrahasznosított ionomer minimális tisztasági küszöbértékei: >99,5%. Kétértékű fémionok (Fenton-fémek) szennyeződései <15 ppm, egyéb szennyeződések <500 ppm
- elvárás a nyertes projekttel szemben az irídium (Ir) újrahasznosítási technológiák hatékonyságának és eredményességének elemzése a költségek és a környezet szempontjából
- a vegyes forrásból előállított membrán teljesítménye és tartóssága legyen összehasonlítható a legkorszerűbb referenciamembránéval, amelyet a PEM elektrolizálókban használnak

[11] E kiírásokban - még a 2025-ös kiírásban is – azért fordulhat elő 2024-re vonatkozó célérték, mert ez a *Clean Hydrogen Partnership* úgynevezett SRIA dokumentumából származik, amelyet 2021-ben dolgoztak ki.

- életképes vizsgálati módszerek kidolgozása az elhasználódott anyagok degradációs állapotának értékelésére; életciklus-elemzés (LCA) és techno-gazdasági elemzés (TEA) mindkét (Ir + ionomer) újrahasznosítási útvonalra vonatkozóan
- a tevékenységek feltételezett technológiai érettsége induláskor: TRL-3; a projekt végére elvárt: TRL-5[7].

Megemlítjük, hogy a *Clean Hydrogen Partnership* fő vezérfonalának számító és több évre előre a műszaki KPI-okat is tartalmazó stratégiai dokumentuma (*Strategic Research and Innovation Agenda,* SRIA) természetesen a platina újrahasznosítására vonatkozóan is tartalmaz célértéket, amely a fenti projektben most konkrétan nem volt követelmény, de érdemes megismerni ezt is:

- a platina (Pt) minimális visszanyerési arány scrap-ből és hulladékokból 95%$_{2024}$ és 99%$_{2030}$

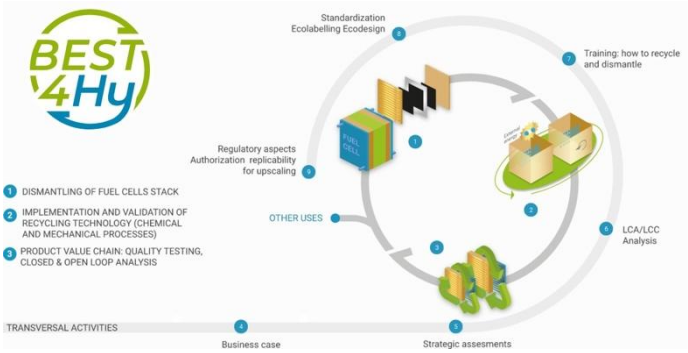
Látható, hogy a platina-visszanyerés már jelenleg is igen nagy mértékű, 2030-ra pedig várhatóan szinte teljeskörű lesz.

A BEST4Hy nevet (*Sutainable solutions for recycling of EoL Hydrogen Technologies*) viselő projekt egyike a nyertes és megvalósításra érdemesnek ítélt pályázatoknak. Fő célkitűzése, hogy TRL5 szinten olyan, kifejezetten a PEMFC-k és SOFC-k[8] számára adaptált, vagy kifejlesztett újrahasznosítási technológiákat dolgozzon ki, amelyek biztosítják a kritikus nyersanyagok, köztük az átmenetifémek, ritkaföldfémek, kobalt és nikkel újrahasznosításának maximalizálását.

A BEST4Hy keretében két újrahasznosítási technikát fejlesztenek ki és validálnak TRL-5 szinten: egyet a PEM, egyet pedig a SOFC tüzelőanyag-cellákra. Ezenkívül továbbfejlesztik a PEM-szétszerelési eljárást, hogy az megfeleljen a TRL-5 fejlettségi szint elvárásainak. A SOFC-újrafeldolgozási technológiát pedig TRL-3 szintre kell emelni. Az eljárások végén az anyagok minőségét és teljesítményét validálják, vagyis kimutatják, hogy az újrahasznosított anyagokból előállított alkatrészek és *stack*-ek épp olyan jól használhatók, mint az újak. Az elérendő konkrét újrahasznosítási arányok:

- SOFC tüzelőanyag-cellák esetén: min. 30% újrahasznosítási arány a kritikus nyersanyagokra: Ni, YSZ[9] és LSC[10]
- PEM tüzelőanyag-cellák esetén: min. 95% újrahasznosítási arány platinára és 70% az ionomer membránra a gyártási folyamatban.

A technológiákat a költséghatékonyság és a környezeti hatás szempontjából értékelik, hogy a visszanyert anyagok káros kibocsátások és magas energiaköltségek nélkül biztosítsák az európai gazdaság számára az értékteremtést. Az újrafeldolgozási technológiák kimenete maximalizálja a zárt és a nyitott körfolyamatú újrafeldolgozás lehetőségeit. Pontosabban, a Pt- és membránanyagokat visszaszállítják a MEA-k gyártóihoz, hogy teljes *stack*-ekben teszteljék őket, míg a hulladékká vált SOFC tüzelőanyag-cellákból származó anód- és katódanyagokat úgy kezelik, hogy közvetlenül újrahasznosíthassák őket a cellákban. A BEST4Hy egy kiterjedt vállalati konzorciumot jelent, amely magába foglalja a hidrogéntechnológiai eszközök gyártóit, egy vezető újrahasznosító központot, amely már ismeri a PEM-újrafeldolgozás piaci lehetőségeit, vezető kutatási szervezeteket és innovációt támogató szakembereket, hogy széleskörűen támogatott újrahasznosítási stratégiát dolgozhasson ki. Mindezeket teljeskörű LCA- és LCC-értékelések, a szabályozási kérdések mérlegelése és a bevezetést támogató képzési program kíséri.



A Best4Hy projekt koncepciója. Kép: best4hy-project.eu/

A konkrét vállalati megoldások közül az elsősorban katalizátorgyártásról ismert Johnson Matthey újszerű újrahasznosítási eljárását emeljük ki, amelyen a vállalat jelenleg is dolgozik a platinacsoport fémeit illetően, és amelyet HyRefine™ márkanéven fejlesztenek. A tradicionális platinafém újrahasznosítási módszerek piro-metallurgiai eljáráson alapulnak, azonban az az

[7] TRL: *Technology Readiness Level* - technológiai érettségi szint. Az első TRL rendszert még a NASA fejlesztette ki az 1970-es években. Ez lehetőséget ad különböző technológiák érettségi szintjének összehasonlítására, vagy egy adott technológia időbeni fejlődési állapotainak jellemzésére. A hivatkozott EU-s intézmények 9 fokozatú (TRL-1 – TRL-9) skálát használnak.
[8] PEM típusú és szilárd-oxidos (SOFC) tüzelőanyag-cellák.
[9] YSZ: ittrium-stabilizált cirkónium. Ez egy kerámiaanyag, amit a SOFC elektrolitjaként használnak.
[10] LSC: *Lanthanum Strontium Cobaltite* (Lantán-stroncium-kobalt vegyület.) A SOFC katódanyaga. Egy perovskite-típusú oxid.

értékes (ionomer) membránt összeroncsolja, ráadásul meglehetősen energiaintenzív is a folyamat. A HyRefine™ eljárás ezzel szemben teljes mértékben kémiai eljárás, amelynek lényege, hogy mind a platinafémeket (PGM), mind a membránt vissza tudják nyerni. Az eljárás laborméretben már bizonyított. Jelenleg a technológia méretnövelésén dolgoznak. 50-100 literes reaktorméretben szeretnék reprodukálni a folyamatot a cég brimsdowni (UK) telephelyén.

Az újrahasznosított platinafémek (PGM) a katalizátorgyártásba majd az azt követő CCM gyártásba gond nélkül visszavezethetők, mivel nagyon nagy tisztaságúra finomítják a fémeket. E másodlagos fémhasználatnak kb. 98%-kal alacsonyabb a karbonlábnyoma, mint az elsődleges (bányászott) fémeknek.

Teljes tüzelőanyag-cellák, pontosabban PEM FC-k területén világszinten is az egyik legjelentősebb gyártó a Ballard, amely már most is visszagyűjtési és újrahasznosítási programmal rendelkezik. Ennek keretében átlagosan elérik a teljes PEM FC-re vonatkozó 95%-os újrahasznosítási arányt. Ugyanez igaz a platinára is.

A Ballard 3R (reuse, reduce, recycle) koncepciója és ennek keretében elért eredményei. Kép: Ballard

Igazából a platina és a membrán a kritikusan fontos, mert ha tágabb értelemben nézzük az üzemanyagcella-modult, a többi komponens (pl. elektronika, szivattyúk, szelepek, tömlők, a ház és a keret fémteste) olyan általánosan használt alkatrész, amelyek könnyen újrahasznosíthatók, ráadásul e hulladéktípusokra a technológia már most is rendelkezésre áll, pl. a WEEE[12] irányelv kötelezettségén keresztül.

A Ballard TC visszavételi és felújítási programot kínál ügyfeleinek az élettartamuk végére érő üzemanyagcellákra. Az ügyfél visszaküldi az üzemanyagcellát a Ballardnak, ahol kicserélik a MEA-t, miközben a meglévő kiegészítő hardvereket és a bipoláris lemezeket újra felhasználják. A használt MEA-t, azaz a platinát és a membránt tartalmazó alkatrészeket harmadik félnek, például a fent említett, újrahasznosítással foglalkozó cégnek küldik meg a platina és más nemesfémek visszanyerése céljából. A felújított tüzelőanyag-celláknak ugyanolyan minőségi kritériumoknak kell megfelelniük, mint az újaknak, de esetükben akár 30%-os költségcsökkenés is elérhető.

Forrás:

EU Funding & Tender Portal: Simultaneous ionomer and iridium recycling. HORIZON-JU-CLEANH2-2025-05-01

Clean Hydrogen Partnership JU: Strategic Research and Innovation Agenda 2021 – 2027 (SRIA)

Best4Hy projekt weboldala: https://best4hy-project.eu/

Johnson Matthey: HyRefine™ technology for recycling catalyst coated membrane (CCMs). Hozzáférés: 2025.04.30.

Ballard: Recycling PEM Fuel Cells. Technical Note.

Újabb hidrogén(származék) árindexek – HYCLICX, EULAB *(folytatás az 1. oldalról)*

Lassan cikksorozattá alakul, hogy beszámolunk a hidrogénhez vagy hidrogénszármazékokhoz kapcsolódó újabb árindexekről, mivel ezekből állandóan újabbak jelennek meg a nemzetközi porondon. Korábbi (2024/3) lapszámunkban már írtunk az Európai Energiatőzsde (EEX) zöld hidrogén indexének (HYDRIX) indulásáról. Az IBHYX spanyol zöldhidrogén-árindexről pedig idén márciusban adtunk ki közleményt.

Az egyik újabb kezdeményezés e téren a hollandiai HyXchange árindex. A HyXchange kezdeményezést olyan vállalatok támogatják, mint pl. a Gasunie, a Port of Rotterdam, a Port of Amsterdam, a Groningen Seaports, és a North Sea Ports. (Korábbi lapszámainkban arról is részletesen írtunk, hogy Hollandia, illetve jelentős kikötői arra törekednek, hogy Európa hidrogén-kereskedelmi központjaivá váljanak, illetve, hogy itt léptessék be kontinensünkre az importáruként beérkező hidrogént és hidrogén-származékokat.)

A hidrogéntőzsde kialakításához és működéséhez elengedhetetlen, hogy a hidrogénkereskedelem terén is létrejöjjenek az alapvető piaci feltételek, fizikai infrastruktúrák, mechanizmusok:

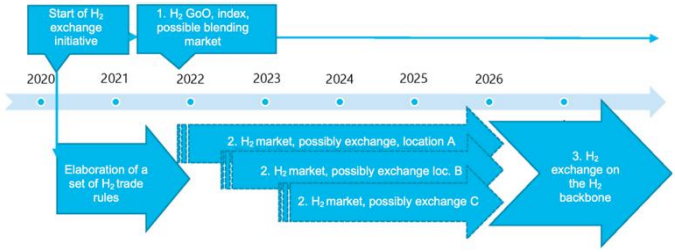
- elsőként fontos feltétel a hidrogén szabadon hozzáférhető szállítási infrastruktúrája; ezt főként a szállítás mellett a tárolást és a független irányítást is lehetővé tevő H_2-gerinchálózat kiépítése jelenti,
- másodsorban fontos a diverzifikált forrásokból származó hidrogénellátás, amelyben a hollandiai előállítás mellett más források is szerepet kapnak, különösen a más országokból és kontinensekről

[12] WEEE: Directive 2012/19/EU of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment.

származó zöld, valamint *low-carbon* hidrogén, illetve származékaik importja,

- harmadrészt egy megbízható és átlátható kereskedési platform nagymértékben javítja a piacra jutást, segíti a likvid hidrogénpiac létrejöttét és csökkenti a tranzakciós költségeket, valamint a kereskedési kockázatokat.

Ez utóbbihoz kapcsolódóan a HyXchange platform várhatóan katalizálni fogja a bővülő eszközpark által termelt hidrogént mint árut, a tiszta hidrogén iránti növekvő keresletet, az átlátható árképzéssel pedig elősegíti a kereslet és a kínálat optimális egyensúlyát. A kezdeményezés már 2020-ban útjára indult, hidrogénkereskedelmi szabályokat, származási garancia (GO) rendszert építve, fokozatosan fejlesztve a hidrogén tőzsdei kereskedelmi rendszerét. 2026-tól várhatóan már megindulhat a vezetéken (*H_2 Backbone*) történő tőzsdei kereskedés is.



A HyXchange tervezett működése. Kép: hyxchange.nl

A fent leírt kezdeményezésnek része a HYCLICX nevű (*Hydrogen CLImate Certificate IndeX*) árindex kialakítása és közzététele. A HYCLICX az elektrolízissel előállított, megújuló alapú hidrogén változó előállítási költségének becslésére szolgáló eszköz Hollandiában, de módszertana más országok esetében is alkalmazható. A HYCLICX indexet a HyXchange spotpiaci szimulációja ihlette a jövőbeni hidrogénpiacról, optimalizálva a spotpiac eredményét a változó költségekre. Ezeken a szimulációs üléseken összesen 25 piaci szereplő vett részt. A HYCLICX értékének alakulását 2025 első hónapjaiban a címlapon található ábra szemlélteti.

A HYCLICX árindex a hidrogén változó árkomponensét az óránkénti villamos energia *spot* piachoz köti, leképezve ezzel az elektrolízist, mint a zöld hidrogén előállítási forrását. Hollandiában többnyire napi két változó blokkban előforduló, ingadozó óránkénti villamosenergia-árak legalacsonyabb értékeinek kiválasztásával állítható elő legolcsóbban a hidrogén. Ezek az órák nagyrészt egybeesnek a szél- és napenergiából származó megújuló villamosenergia-termelés magas arányával, ami szintén biztosítja a tanúsítványokra vonatkozó szabályokkal és a zöld hidrogénre vonatkozó, EU-s rendeletekkel (*RED-III irányelv és a kapcsolódó RFNBO Delegated Act*[13]) való összhangot.

A HYCLICX módszertan alapján jelenleg Hollandiát alapul véve számítják ki a hidrogén költségét, de könnyen alkalmazható egyéb országokban is, ahol átlátható, órára vetített villamosenergia-árral rendelkező piac van. A HYCLICX átfogó jelentése havonta jelenik meg, részletesen bemutatva mind az előző hónapok hidrogéntermelési árát, mind az 1 évre visszamenőlegesen kimutatható fejlődést.

A HYCLICX egyébként nagyrészt ugyanazt a számítási módszert használja, mint a német HYDEX. A kiindulópontok nagyrészt azonosak és a feltételezések harmonizáltak:

- az index a zöld hidrogén előállításának változó költség-árkomponenseit jelenti. Ez magában foglalja a villamosenergia-fogyasztást, beleértve a veszteségeket és hálózati díjakat, a megújuló villamos energia költségét a garanciák vagy a származási hely (európai szél- és napenergia) révén, valamint egy változó költségkomponenst, amely az állandó jellegű költségeket tükrözi. A tőkeköltség és egyéb megfontolások nem részei a módszernek
- az indexet a hidrogén HHV (égéshő) energiatartalmára adja meg €/MWh egységben. Ez figyelembe veszi a hidrogén teljes energiaértékét, és kompatibilis a TTF földgáz- és egyéb gázárindexekkel is. Kompatibilis a holland hidrogénhálózat szabályaival és a jelenlegi holland hidrogén származási garanciával is.

A HyXchange publikálja a hidrogénre vonatkozó órás *spot market* indikátort, amely a legalacsonyabb órás villamosenergia áron alapul. Emellett közzéteszi a kék és szürke hidrogén árakat is, elsődlegesen az összehasonlíthatóság érdekében, ahogy ez a címlapon található ábrán is látható.

Milyen költségeket foglal magába a HYCLICX:

- input víz, illetve vízkezelés költsége
- input villamos energia spot ára (óránkénti változó)
- a villamos energiát terhelő adók
- a zöld villamos energia származási garanciájának (GO) ára (negyedévente felülvizsgálva)
- O&M költségek
- elektrolizáló stack cseréjének költsége (10 év után)

Itt peremfeltételnek számít, hogy az elektrolizáló 30 bar kimeneti nyomáson termeli a hidrogént.

[13] https://www.hfc-hungary.org/mhte-kepzes-zold-rfnbo-hidrogen-eloallitas-eu-s-szabalyrendszererol/

Mit nem tartalmaz az árindex:

- a beruházás tőkeköltségét, az elektrolizáló finanszírozását
- előzetes projektelőkészítési költségeket
- fix adminisztrációs és overhead költségeket
- villamos hálózati költségek közül az egyszeri hálózati csatlakozási díjat vagy költséget – ha van
- villamos hálózati költségek közül a lekötött kapacitás hálózati díját (éves fix költség) – ha van
- hidrogén hálózati költségek közül a betáplálási díjakat, csatlakozási díjakat vagy költségeket
- egyéb H_2-szállítási költségeket: vízi, vasúti szállítás
- kereskedelmi árrés
- az elektrolizálóhoz kapcsolódó nitrogén-öblítési rendszer költségeit.

Egy másik, viszonylag új árindex az Argus nevű nemzetközi ügynökség által 2024 áprilisában publikált, kék (*low carbon*) ammóniára vonatkozó európai árindex, amely az EULAB (*EU Low-Carbon Ammonia Benchmark*) nevet kapta.

Az EULAB a „kék" ammónia Amszterdam, Rotterdam és Antwerpen (*ARA Ports*) kikötőkbe történő szállításának valós költségeit fogja nyomon követni. Ez segíthet a vállalatoknak az árkockázatok kezelésében és a különböző forrásokból származó energiahordozók költségeinek összehasonlításában. Az EULAB-index az USA Öböl-menti részén, földgáz alapon előállított, széndioxid-leválasztási és tárolási (CCS) technológiával kiegészített, Európába szállított „kék" ammónia költségeit tükrözi. Az index publikációjakor az Argus kiemelte, hogy a low-carbon ammónia árának erőteljes, akár 65%-os ingadozása volt megfigyelhető az elmúlt évben. Csak februárban az árak tonnánként 269 euróval ingadoztak, ami nehézséget jelent a kereskedésben érintett vállalatoknak a szerződések tető alá hozásában, betartásában. Az importáruk karbonintenzitását kiegyenlítő mechanizmus (CBAM rendelet) 2026 januárjától „élesben" is hatályba lép. Ezután tehát az érintett, EU-n kívülről importált áruk (pl. ammónia, műtrágya, hidrogén stb.) beágyazott széntartalma után meghatározott kvótákat kell vásárolni az importőröknek. A CBAM rendelet alkalmazásának eredményeként azt valószínűsítik, hogy a low-carbon ammónia erős gazdasági ösztönzést kaphat. A műtrágyagyártás mellett az importált low-carbon ammóniának tengerhajózási üzemanyagként és az energiatermelésben is lehet felvevőpiaca. Amennyiben az ammóniabontási technológiák ipari léptékben is életképesnek bizonyulnak, vagyis ha az ammónia nagy mennyiségben is visszaalakítható hidrogénné (és nitrogénné), akkor

Illusztráció. Kép: Argus és saját szerkesztés

elvileg a hidrogénigények kiszolgálására is alkalmas lehet.

Az USA-ban, főleg a Mexikói-öböl térségében komoly tervek vannak a következő 10 éves időtávon low-carbon ammónia előállítására és európai exportjára. Az EULAB index emiatt a Henry Hub-árazású földgázzal számol, autotermális reformálási (ATR) technológiával történő hidrogén-előállítással, a széndioxid-leválasztás és tárolás (CCS) öböl-környéki költségeivel, valamint az USA helyi villamosenergia áraival, a termékként előállított low-carbon ammónia közepes méretű gáz-tankerhajókkal Európába, az említett ARA kikötőkbe történő szállításának költségeivel. A szándékok alapján az EULAB index világos piaci árreferencia kíván lenni, amely szükség esetén módosítható magasabb és alacsonyabb karbonintenzitású termékek árazásának számítására is. Az EULAB index az után került publikálásra idén tavasszal, hogy 2024 júniusában az Argus már létrehozta és sikeresen alkalmazta *Argus Japan Korea Low-carbon Ammonia Benchmark*, vagyis JKLAB indexét, amely az Öböl-menti low-carbon ammónia előállításának és Japánba, valamint Dél-Koreába történő szállításának teljes („*all-in*") költségét tükrözi.

Az Argus egy londoni székhelyű, 1500 főt foglalkoztató piaci információs ügynökség, globális jelenléttel, amely egyebek mellett az energiatermékek és egyéb *commodity* termékek terén kínál árazási, piacelemzési szolgáltatásokat.

Forrás:

https://hyxchange.nl/hyclicx/

www.argusmedia.com/en/about-argus/media-centre/press-releases/argus-launches-eu-low-carbon-ammonia-benchmark

Az Európai Hidrogén Bank második (2024/2025) aukciójának nyertes projektjei

2025. május 20-án az Európai Bizottság jóváhagyta 15, megújuló hidrogén előállítását célzó projekt támogatását az Európai Hidrogén Bank (EHB) második aukciójának eredményeként. E projektek együttesen 992 millió euró támogatásban részesülnek. A nyertes ajánlattevők fix összegű prémium támogatásra jogosultak 10 éven át.

A mostani, második aukciót 2024.12.03-án nyitották meg. Az ajánlatokat 2025.02.20-ig lehetett benyújtani. Az elbírálás, illetve a nyertes projektfejlesztők kihirdetése mostanra történt meg. Az általános (*general topic*) kategóriába tartozó nyertes projektek öt országból származnak. A legtöbb támogatást elnyert projektet Spanyolországban (8) nyújtották be, ezután következik Németország (2), Hollandia (1) és Finnország (1). Most először fordult elő, hogy az aukciós kiírásban dedikált keret volt a tengerhajózási (*maritime topic*) kategóriára is, és ebben valamennyi nyertes projekt (3) Norvégiából érkezett.

Az összes nyertes projekt, a projektfejlesztők, a pályázati volumen (kt), az elektrolizáló kapacitás, valamint az ajánlati ár megtalálható az 1. táblázatban. Ebből látható, hogy az „általános" keretben a nyertes projektgazdák által kért prémium 0,2-0,6 €/kg$_{H2}$ között mozgott, de a legtöbb projekt 0,5 €/kg$_{H2}$ alatti támogatást kért, ami megerősíti az első árverés értékeit. A tengerhajózási kategóriában a nyertes támogatási igények 0,45 – 1,88 €/kg$_{H2}$ összeget tettek ki. A legnagyobb (általános) projektek Németországban és Hollandiában találhatók; ezek egyenként 367 MW (GER) és 560 MW (NL) elektrolizáló kapacitásnak felelnek meg.

A további menetrend szerint a kiválasztott projekteket felkérik, hogy készítsék elő támogatási megállapodásukat az *Európai Éghajlat-, Infrastruktúra- és Környezetvédelmi Végrehajtó Ügynökséggel* (CINEA). Ezeket a szerződéseket várhatóan 2025. szeptember-októberéig írják alá. Innentől számítva a projekteknek legfeljebb 2,5 éven belül el kell érniük a pénzügyi zárást és öt éven belül meg kell kezdeniük a megújuló hidrogén előállítását. A projektek legfeljebb tíz éven keresztül kapják a fix prémium támogatást az ellenőrzött és

Project Name	Coordinator	Country	Bid Volume (hydrogen kilotonne over 10 years)	Bid Capacity (Megawatts electric)	Expected GHG avoidance** (kilotonnes of CO2 equivalent over 10 years)	Bid Price (EUR/kg)
General topic						
VILLAMARTIN H2	GALENA RENOVABLES 6, S.L.	Spain	126	252	859	0.2
PUERTO SERRANO H2	GALENA RENOVABLES 7, S.L.	Spain	49	98	337	0.25
Kristinestad PtX	Koppö Energia Oy	Finland	258	200	1,763	0.33
SolWinHy Cadiz	Viridi RE GmbH	Spain	63	80	431	0.4
H2LZ	IGNIS HIDROGENO ALFA	Spain	26	20	179	0.41
AGS	ARMONIA GREEN SEVILLA	Spain	238	198	1,631	0.41
AGG280	ARMONIA GREEN GALICIA, S.L.	Spain	238	198	1,629	0.42
H2CRI	GREEN DEVCO ENERGY 6, S.L.U.	Spain	30	30	204	0.44
KASKADE	Meridiam SAS	Germany	354	367.5	2,424	0.45
H2-Hub Lubmin	H2-Hub Lubmin GmbH	Germany	238	210	1,628	0.47
TORDESILLASH2	Elawan Energy	Spain	17	15	115	0.48
Zeevonk electrolyser	Zeevonk Electrolyser	Netherlands	411	560	2,812	0.6
Maritime topic						
RjukanH2	NORWEGIAN HYDROGEN AS	Norway	29	18.75	201	0.45
Gen2-LH2	Gen2 Energy AS	Norway	104	82.21	714	0.59
HammerfestH2	GREEN H AS	Norway	12	7.5	80	1.88

1. táblázat: a European Hydrogen Bank második (2024/2025) aukciójának nyertesei és a projektek főbb jellemzői. Forrás: Európai Bizottság

tanúsított megújuló (RFNBO) hidrogéntermeléshez. Jelenleg már az is tudható, hogy az Európai Hidrogén Bank harmadik aukciójának kiírását 2025 végén tervezik, közel 1 milliárd eurós költségvetéssel.

Érdemes kiemelni, hogy az *Auction as a Service* (AaaS) funkció eredményei még nem születtek meg. Ennek keretében Spanyolország, Litvánia és Ausztria akár 836 millió eurós nemzeti finanszírozást is elkülönít az országaikban megvalósuló zöld hidrogén projektek számára. Az AaaS funkció lényegében egy aukciós szolgáltatás, amely lehetővé teszi a tagállamok számára, hogy azonosítsanak és támogassanak olyan alkalmas projekteket saját területükön, amelyek megfelelnek az aukció kvalifikációs feltételeinek, de nem támogathatók a limitált költségvetésű EHB Innovációs Keretből. Az *Auctions as a Service* lehetősége nyitva áll valamennyi tagállam előtt. Az országok tehát használhatják az EU szintű aukciós platformot és nemzeti támogatást nyújthatnak további zöld hidrogén projekteknek egy viszonylag egyszerű eljárás keretében.

Forrás:

European Commission: Nearly €1 billion awarded to boost development of renewable hydrogen. Press release, 20.05.2025.

Rheinmetall hidrogéntechnológiai fejlesztések és gyártás

A német Rheinmetall 100 darab, nagy mennyiségű hidrogén tárolására és szállítására alkalmas, többelemes gázkonténer (MEGC – *Multi Element Gas Container*) szállítására kötött megállapodást. Minderről egy meg nem nevezett európai zöld hidrogén gyártóval szándéknyilatkozatot írtak alá április végén, amelynek értéke több tízmillió euró.

Az előzetes megállapodás a Rheinmetall első nagyobb megrendelését jelenti az új hidrogéntárolási technológiára. Az első MEGC hidrogénkonténereket a tervek szerint 2026 elején szállítják le a megrendelőnek. A IV-es típusú (*Type-IV*) hidrogéntárolót 700 bar maximális nyomásra tervezték. 380 bar nyomáson akár 1.000 kg hidrogén tárolására is alkalmas. A Rheinmetall 20 és 40 láb hosszúságú, kifejezetten a tartályok szállítására szolgáló pótkocsikat is kínál. Előnyös, hogy a MEGC konténer rendelkezik az ADR (közúti), RID (vasúti) és ADN (vízi) veszélyes áru szállítására vonatkozó tanúsítványokkal.

Illusztráció és technikai adatok. Kép: Rheinmetall és saját szerkesztés

„Nagyon büszkék vagyunk arra, hogy ilyen rövid idő alatt megszereztük első nagy ügyfelünket innovatív termékünkhöz. Így a Rheinmetall tovább építheti a nemrégiben létrehozott hidrogéntároló és szállító rendszerek üzletágát" – mondta Philipp Engl üzletágvezető.

A MEGC rendszer kompozit tartályait a rövidebb tekercselési idő, a szénszálak csökkentett használata és a megnövelt tárolókapacitás jellemzi. A vállalat kényelmes, „mindent egyben" (*all-in-one*) megoldást kínál, amely intelligens szerviz- és prediktív karbantartási támogatást is tartalmaz.

Talán kevésbé közismert, de a Rheinmetall a tüzelőanyag-cellás technológia területén is komoly kompetenciákkal és komponens-gyártóképességgel rendelkezik. Nem a MEGC tároló az első technológia, illetve berendezés, amely a Rheinmetall hidrogéntechnológiai üzletágában született, és amelyre megrendeléseket nyert el. A cég még 2023-ban két megrendelést kapott az egyik legnagyobb – szintén meg nem nevezett – nemzetközi haszongépjármű-gyártótól az üzemanyagcellás teherautókba szánt hűtőfolyadék-szabályozó szelepekre. Az üzlet értéke ez esetben is tízmillió eurós nagyságrendű volt és az első szállítás már 2024-ben megtörtént. A megrendelés egy elektronikus termosztatikus szelepre (3/2-utas szelep) és egy elektronikus hűtőközegszelepre (2/2-utas szelep) szólt, amelyeket az üzemanyagcellák hűtőkörében használnak. E téren a nagyobb volumenű gyártás várhatóan 2028-tól kezdődik.

Az üzemanyagcella élettartamát a magas hűtőközeg-hőmérséklet jelentősen degradálhatja. Az újonnan kifejlesztett Rheinmetall-szelepek érdemi javulást érnek el a hűtőközeg hőmérsékletének nagy dinamikájú és nagyon pontos szabályozásában. A korábban alkalmazott, tágulási elemekkel ellátott termosztátokat hiszterézis jellemzi, ezért lomhák és pontatlanok. A túl magas hőmérséklet mellett a túl alacsony hőmérséklet is negatív hatással van az üzemanyagcellára. E szelepekkel megvalósítható az egyedi alkalmazási követelményeknek megfelelő és szükséges hűtőfolyadék-áramlás pontos beállítása.

Még korábban, 2022-ben a német cég megrendelést kapott nagyméretű, nagyfeszültségű hidrogén-visszavezető fúvókákra, amelyek szintén fontos komponensei az üzemanyagcellás rendszereknek. A Rheinmetall szerint a recirkulációs fúvóka nagyobb hatékonyságot és hosszabb üzemanyagcella-élettartamot biztosít. A hidrogén-visszavezető fúvókát az üzemanyagcella anódoldalára szerelik fel. Így fokozza a hidrogén hatékony felhasználását az üzemanyagcellában, mert lehetővé teszi a fel nem használt hidrogén ellenőrzött visszavezetését, ami nagyobb hatékonyságot eredményez. Gyakorlatilag ez növeli a jármű hatótávolságát. Ezen túlmenően a fúvóka hozzájárul a hidrogén homogénebb eloszlásához a cellában, ami hosszabb élettartamot eredményez. Mindezek mellett a német cég katód-

Katódszelep és főbb műszaki jellemzői. Kép: Rheinmetall

szelepeket is gyárt és szállít az TC-gyártóknak.

A konkrét technológiai fejlesztés és gyártás mellett a Rheinmetall már 2021-ben partnerségre lépett a hidrogén és tüzelőanyag-cellás technológiák kidolgozására létrehozott Észak-Rajna-Vesztfáliai Innovációs és Technológiai Központtal, amely főként a hidrogéntechnológiák mobilitási célú alkalmazásaira fókuszál.

Forrás:

Rheinmetall (Press Release, 28/04/2025): Rheinmetall achieves milestone in future-oriented field of hydrogen – major order from storage and transport systems.

Automotiveworld.com: Hydrogen strategy: new customer awards Rheinmetall two orders for control valves. (21/09/2023)

H2-view: Rheinmetall to supply hydrogen recirculation blowers and cathode valves for more efficient hydrogen fuel cells (10/02/2022)

H2-view: Rheinmetall partners with a new German Innovation and Technology centre for hydrogen and fuel cells (24/09/2021)

Kína első hidrogénkorridorja és néhány egyéb, jelentős hidrogénprojekt

Április közepén Kína hivatalosan is elindította első, regionális hidrogénfolyosóját (*hydrogen corridor*), amelynek töltőinfrastruktúrája alapvetően a nehézgép-járművek részére létesült. Az 1.150 km hosszú útszakasz Csungking város és Qinzhou kikötője között húzódik, amelyen négy, nagy kapacitású hidrogén-töltőállomás épült. A kezdeti flotta a mellékelt képeken is látható 10 hidrogén-üzemanyagcellás kamionból áll, amelyek vegyipari termékeket, elektronikai cikkeket és autóalkatrészeket szállítanak.

A folyosó menti négy hidrogén-töltőállomást a *China Petrochemical Corporation*, rövid és ismertebb nevén Sinopec Group, Kína legnagyobb olajipari vállalata létesítette. Az eddig is köztudott volt, hogy Kína a hidrogénmobilitás terén elsődlegesen a nehéz-gépjárművekre, azaz a teherautókra és buszokra fókuszál. Ezek globális flottájának több mint 85-90%-a működik jelenleg is Kínában. Ami most újdonság, hogy interregionális léptékű, ezer kilométert meghaladó hidrogénkorridort építtettek ki, az említett városok közti rendszeres szállítások kiszolgálására, ami egy új mérföldkő a kínai hidrogénmobilitás terén. A meghatározott, forgalmas logisztikai útvonalra kiépített hidrogénkorridor biztosítja a folyamatos szállítást egy

A hidrogénkorridor vázlatos térképe. Kép: OpenAI

A hidrogénfolyosó megnyitó ünnepsége a New International Land-Sea Trade Corridor csungkingi központjában, előtérben a 10 hidrogén-üzemanyagcellás kamionnal. Kép: Xinhua News

fix útvonalon, így a hidrogénüzemanyag iránti igény garantált, tervezhető és viszonylag jelentős lesz, ezáltal a töltőállomások kihasználtsága pedig magas. E faktorok elősegítik a pénzügyi szempontból is életképes működést.

A Sinopec megbízható hidrogénellátási hálózatot biztosít az útvonal mentén. Ehhez jó alapot biztosít, hogy az érintett régiókban már jelenleg is számottevő ipari hidrogén-előállítás folyik, és csak a melléktermékként keletkező hidrogén mennyisége kb. 400 kt/év az érintett városok környezetében.

Az említettek miatt a hidrogénfolyosó nem csupán hidrogénmobilitási projekt, hanem stratégiai jellegű, ipari összekötő kapocs is. Az útvonal becsült éves teherszállítási kapacitása 220.000 TEU és Csungking, Guijang, valamint Nanning városok logisztikai csomópontjain halad keresztül. A hidrogénellátást, a környezetbarát logisztikát és az ipari innovációt integráló új ökoszisztéma kísérleti terepeként szolgál, elősegítve az energetikai- és a közlekedési ágazat

közötti szinergiát.

A Sinopec vezető szerepet vállal Kínában a hidrogéninfrastruktúra létesítésében, annak gyorsabb kiépítésében. Csungkingban úttörő szerepet játszott Kína legnagyobb, melléktermékként keletkező hidrogént felhasználó hidrogén-központjának létrehozásában, amelynek napi 3200 kg hidrogént szállít. A városban jelenleg hét üzemelő H_2-töltőállomás található, köztük a világ első földalatti hidrogéntárolással üzemelő állomása. A korridornak szintén részét képező Guangxiban már hét töltőállomás működik. Itt található az első kereskedelmi ammóniakrakkoló és üzemanyagtöltő létesítmény is. Guizhou szintén fejleszt és hidrogén-töltőállomása köré technológiai-, erőforrás- és szakpolitikai-szinergiamodellt épít.

A korridoron közlekedő hidrogénüzemű teherautók kezdeti flottája. Kép: Xinhua News

A Sinopec idén május végén 5 milliárd jüan (690 millió dollár) kezdőtőkével létrehozott egy hidrogénre szabott kockázati tőkealapot, amely kifejezetten a hidrogén-értékláncokba történő befektetésekre összpontosít. A korai fázisú befektetéseket és a nagy növekedési potenciállal rendelkező, kulcsfontosságú anyagok, alapberendezések és saját technológiák inkubálását tűzte ki célként. Az alapot a *Sinopec Private Equity Fund Management Co.* kezeli. Emellett a Sinopec 13, a hidrogéntechnológiai értékláncokban részt vevő vállalatban szerzett tőkerészesedést, 11 hidrogénellátó központot épített, valamint 144 hidrogén-töltőállomást létesített Kína-szerte. (Kína hidrogénmobilitási helyzetéről, meglévő és közeljövőben tervezett töltőinfrastruktúrájáról részletesebb képet ad a „*Hidrogénüzemű járművek és -töltőinfrastruktúra friss statisztikai adatai*" című cikkünk, a Hidrogén Hírlevél 2025/1 lapszámában, a 17. oldalon.)

A világ jelenlegi legnagyobb, már működő zöldhidrogén-projektje is a Sinopechez kötődik. Ez Kuqa létesítményében – az észak-nyugati, Xinjiang régióban – található. 2023 óta működik és 260 MW kapacitású elektrolizáló rendszert alkalmaz. Ennek kapcsán egyébként érdekesség, hogy – nem részletezett – műszaki nehézségek miatt az elektrolizáló-létesítmény működésének első évében névleges kapacitásának csak átlagosan 35%-át tudta elérni. A pontos okokról biztos információ nem tudható, de a S&P egyik cikke azzal magyarázza, hogy biztonsági okai voltak a szuboptimális működésnek, mert amikor fluktuáló módon rendelkezésre álló megújuló alapú villamos energia egy bizonyos teljesítményszint alá csökkent, az elektrolizáló termelését is le kellett csökkenteni. Az előállított hidrogén végfelhasználója a Sinopec egyik finomítója, a *Tahe Refining & Chemical Company*.

Hidrogéntároló tartályok a Sinopec kuqa-i (Xinjiang) zöldhidrogén-projektjében. Kép: Sinopec.

Egy másik, szintén korábbi világrekordernek – információink szerint jelenleg is a második legnagyobbnak - számító elektrolizáló projekt is Kínában található. Ez 150 MW elektrolizáló-kapacitást és 200 MW napelemes rendszert tartalmazó zöld-hidrogén-projekt, amely Ningxia régióban található és még 2022-ben létesült. A *Baofeng Energy Group* üzemelteti, amely egyébként szén alapú vegyi anyagok gyártására szakosodott vállalat.

Bár európai léptékkel a Boafeng projekt igen nagy, mégis csak rövid ideig volt méretrekorder, mert a fent említett Sinopec (260 MW) elektrolizáló létesítmény átvette tőle ezt a címet nagyjából egy éven belül. Ehhez kapcsolódóan még érdekesség és jellemző megoldás, hogy e projekthez az elektrolizáló rendszert a kínai Longi szállította, amely céget az energetikai szakmában leginkább globális szinten is jelentős napelem-gyártóként ismerik. A Longi 2018-ban intenzív elektrolizáló-fejlesztésekbe kezdett, majd megalapította *Longi Hydrogen Technology Co.* leányvállalatát, amelynek Wuxiban létesült az elektrolizáló gyártókapacitása. Egy idén májusi vezetői interjú alapján a Longinak eddig

300 MW beépített, már működő elektrolizáló-kapacitása van és a jelenlegi megrendelésállománya további 200 MW. A Longi Hydrogen 2022-ben kezdett elektrolizáló megrendeléseket nyerni, közte a fent említett, méretrekorder *'Sinopec 260 MW Kuqa Green Hydrogen'* projektet is. Ez utóbbi projekthez a Cockerill Jingli (CJH) és a Peric cégekkel társulva szállították le a lúgos elektrolizáló rendszert és helyezték üzembe 2023 augusztusában.

A Sinopec 260 MW Kuqa Green Hydrogen Project légifelvétele. Kép: jethrojeff.com/

Az eredetileg 20.000 tonnás termelésre tervezett rendszer csak 7.000 tonna hidrogént volt képes termelni az első évben, ami a névleges teljesítményének csak 35%-a. A forrásban megadott magyarázat alapján a projektet az olcsó villamos energia beszerzésére alapozták, amely időben fluktuáló módon volt elérhető. Az alkálikus elektrolizálók a névleges teljesítményükhöz közeli terhelésen működnek jól és leginkább költség-hatékonyan. A minimális terhelés közeli munkapontban csökken a hatékonyság és a rendszer elérhetősége is. Utóbbi annak köszönhető, hogy kisebb részterheléseken hidrogén átjutás fordulhat elő az oxigén oldalra, ami robbanásveszélyes gázkeverék kialakulását eredményezheti, amely előtt a biztonsági rendszer ugyan leállítja a berendezést, de egy-egy ilyen esemény nyilván csökkenti a rendszer rendelkezésre állását.

Kiszállításra várakozó elektrolizálók a Longi Hydrogen Co. üzemében. Kép: Longi

A lúgos elektrolizálók globális és kínai gyártása is több évtizedes múltra tekint vissza, érett, megbízható technológiának számít. E projekt egyik tanulsága, hogy a száz MW léptékű lúgos elektrolizáló rendszerek fluktuáló villamosenergia-inputtal és alacsony részterhelésekkel is járó üzemeltetése még kihívásokat okozhat. A Longi Hydrogen egyik vezetője szerint éppen ez a pilot projektek célja, hogy az ipari méretre felskálázott és valós ipari környezetben működő, újszerű rendszereknél az esetleges hibák felszínre kerüljenek és azokat orvosolják.

A Kuqa projekt után a Longi nemzetközi jelenlétének növelésébe kezdett, és ennek keretében egyebek mellett 12,3 millió dolláros befektetést eszközölt a norvég HydrogenPro elektrolizáló-gyártóba, amelynek Kínában is van gyártókapacitása. A két cég közti megállapodás azt is tartalmazza, hogy közösen fejlesztenek elektrolizálókat és kapcsolódó mérnöki szolgáltatásokat is kínálnak közösen az európai piacra. Az elektrolizáló rendszerek meglehetősen komplexek, így a potenciális európai ügyfelek gyakran kérdezik, hogy tudnak-e helyi támogatást nyújtani a projektekhez, ami nagyban növeli projektek elnyerésének esélyét. Ezért is fontos az európai, jelen esetben norvég partnercéggel történő együttműködés. A másik ok, hogy például a legutóbbi Európai Hidrogénbank aukciós kiírás feltételként szabta, hogy a nyertes projektekben legfeljebb 25% lehet a Kínából származó elektrolizálók aránya, ezzel is támogatva az európai ipart. Egy Longi – HydrogenPro közös termék előnye, hogy alapvetően európai gyártású termék, de bizonyos mértékig kínai komponenseket is tartalmaz, hogy az előállított hidrogén költsége minél kedvezőbb legyen. A Longi fontos hidrogéntechnológiai piacnak tartja Európát, de egyfajta tanulási fázis itt kihagy-hatatlan, például az európai szabványoknak és egyéb követelményeknek történő megfelelés terén. Ha ez megtörténik, a termelés felfutásával olyan költségletö-résre számítanak, mint a napelemes rendszereknél volt.

Forrás:

echemi.com: China Opens First 1.150 km Hydrogen Truck Corridor in the West with 10 Heavy-Duty Vehicles on the Move. Hozzáférés: 2025.05.30.

Reuters.com: Sinopec sets up $690 million hydrogen-energy-focused venture capital fund. Hozzáférés: 2025.05.30.

https://www.hydrogeninsight.com/production/exclusive-world-s-largest-green-hydrogen-project-in-china-only-produced-about-35-of-expected-output-in-first-year-of-operation/2-1-1702616

H_2-View Magazine: Longi Hydrogen targets global electrolysis leadership after Chinese learning curves. Issue #63

Bemutatkozó - egy fiatal magyar kutató geológiai hidrogénkutatásai az USA-ban

Tagjaink bemutatkozó sorozatának keretében most egy magánszemélyi tagunk, Gelencsér Orsolya Ph.D. és igen érdekes, újszerű kutatási területe mutatkozik be – a Szerk.

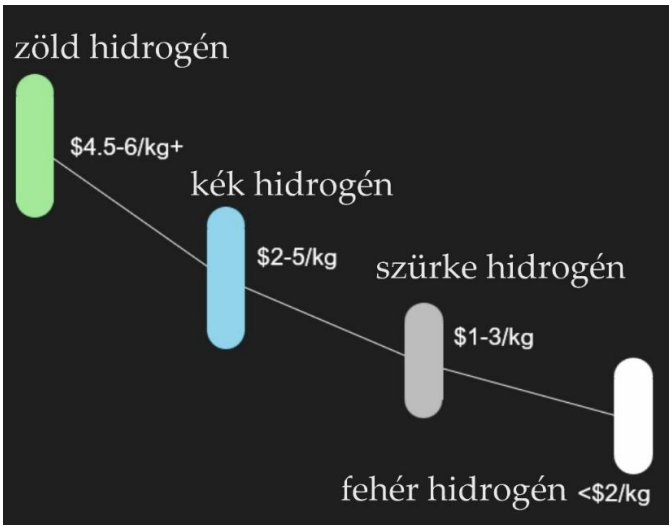
Alkalmazott geokémia a geológiai H_2 hasznosításában

Gelencsér Orsolya Ph.D., posztdoktor kutató,
Bureau of Economic Geology,
University of Texas at Austin, Amerikai Egyesült Államok

Gelencsér Orsolya vagyok, geológus és az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) környezettudományi PhD hallgatójaként léptem be – magánszemélyként – az MHT Egyesületbe, amikor az országban elsőként kezdtem el kutatni a felszín alatti hidrogéntárolás kőzetekre gyakorolt hatását geokémiai szemszögből. Jelenleg az Amerikai Egyesült Államokban dolgozom posztdoktori kutatóként az austini (Texas) székhelyű *Bureau of Economic Geology* (BEG) kötelékében, ahol a hidrogén geológiai képződésért felelős geokémiai reakciókat tanulmányozom. Az említett témákhoz erős alapot adott az ELTE TTK-n működő Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium (LRG), ahol korábban számos TDK, MSc, PhD és tudományos publikáció született a szén-dioxid felszín alatti tárolásáról és a földköpenyt alkotó kőzetek geokémiájáról, amelyekhez jelenlegi tudásunk szerint a legnagyobb remények fűződnek a geológiai hidrogén képződésének kontextusában. Emellett, az LRG-ben rendszeresen vállaltunk ipari megbízásokat, például fúrások kőzettani leírását, különféle geokémiai elemzését, valamint kőzet-víz-gáz kölcsönhatások kísérleti vizsgálatát és geokémiai modellezését.

A texasi BEG-ben egy olyan kutatási programban veszek részt, amelynek célja a geológiai hidrogén (olykor „fehér" jelzővel ellátott hidrogén) kitermelésének tudományos megalapozása, elsősorban geokémiai szemszögből. A munkánk során USA-beli, különböző ásványos összetételű, hidrogén képződésre, illetve termelésre potenciálisan alkalmas kőzetet gyűjtöttünk be és kísérleti úton vizsgáljuk a kőzet-víz kölcsönhatásokat, különös tekintettel a hidrogénképződés folyamatára. A végső cél egy hidrogéntermelő fúrás kijelölése és az injektált fluidum összetételének optimalizálása az elvárt „hidrogénhozam" eléréséhez.

Korunk energetikai átalakulásának, azon belül a hidrogénszektor fejlődésének egyik kerékkötője, hogy drága és/vagy környezetterhelő az előállítása és szállítása. A két leggyakoribb előállítási mód közül a földgázból való előállítás (vízgőzös reformálás, SMR) a CO_2 kibocsátással és annak elhelyezésével terhelt, míg az elektrolízis alapú előállítás egyelőre nem piacképes magas költsége miatt (1. ábra). A 2020-as évekig nem sokan gondoltak arra, hogy a szénhidrogénekhez hasonlóan a hidrogén gázt is ki lehetne termelni a Föld sekélyebb rétegeiből (néhány km mélységig).



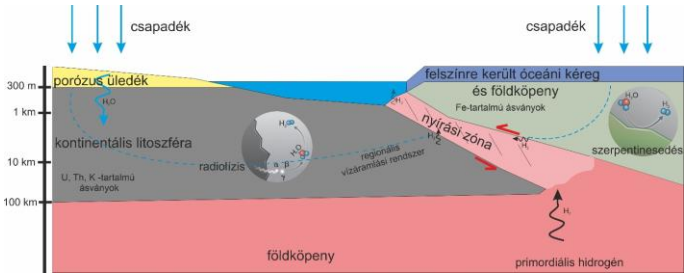
1. ábra: különféle módon előállított hidrogén termelési költségei USD/kg-ban kifejezve. Kép: hyterra.com

Az első és azóta is legismertebb példája a hidrogén földgázhoz hasonló felhalmozódására, az afrikai Maliban található vízkutatás során véletlenül felfedezett mező, amely azóta is 97% tisztaságú hidrogént termel (*Prinzhofer et al., 2018*).

Mi is az a geológiai hidrogén? A harmadik leggyakoribb elem a földkéregben, amely nagyrészt víz (H_2O) formájában van jelen, de ott van a földgáz és a kőolaj szénhidrogén molekuláiban, továbbá a kőzetalkotó ásványok szerkezetében hidrátként vagy hidroxidként. Természetes gázként (H_2) is előfordulhat metán, hélium, nitrogén és kén-hidrogén társaságában. A geológiai hidrogén fogalom alatt a természetesen képződő és/vagy műszaki beavatkozással, de a kőzetekben lejátszódó reakcióból származó hidrogént értjük.

A természetes hidrogén képződésért alapvetően három folyamat felelős. 1) ultramafikus/mafikus kőzetek hidrotermális átalakulása, azaz szerpentinesedése, amely során a kőzetalkotó ásványokban lévő redukált vas (Fe^{2+}) víz jelenlétében oxidálódik és a reakció H_2 és új ásvány képződésével végződik. 2) radiolízis, amely során az uránt, tóriumot, káliumot tartalmazó kőzetalkotó ásványokban az említett elemek radioaktív bomlása vízbontást idéz elő. Ilyen körülmények nagy mélységben (> 2000 m) és hőmérsékleten (> 300 °C) lévő kvarc-és földpát-gazdag kontinentális kőzetekben fordulhatnak elő. 3) mély, földköpenyig hatoló törések, repedésrendszerek mentén feláramló, a Föld képződése óta tartó, magból felszínre tartó kigázosodás (primordiális hidrogén) –

lásd a 2. ábrán. Bár a fenti folyamatok hatékonyságának vizsgálata ma is zajlik, konszenzus van abban, hogy a szerpentinesedés folyamata tűnik a leghatékonyabbnak.



2. ábra: A természetes hidrogén főbb képződési formáinak egyszerűsített modellje. Kép: saját szerkesztés.

Azonban a hidrogén folyamatos képződése önmagában nem elég ahhoz, hogy kitermelhető mennyiség halmozódjon fel belőle. A H_2 a legkisebb molekulák egyike, könnyen utat talál magának a felszínre, majd a légkörbe, ahol jelenleg ppb (*part per billion*) nagyságrendű koncentrációban fordul elő és nem tűnik reálisnak a légkörből történő leválasztása. Ha sikerül megrekednie a kőzet pórusterében, akkor reakcióba léphet az ott lévő ásványokkal és pórusvízzel. A sekélyebb mélységekben, ahol a hőmérséklet 100 °C alatt van, a pórusokban jelenlévő mikrobák tudják felhasználni a működésükhöz. A fenti okokból a talajig ritkán jut el nagy koncentrációban a hidrogén, azonban erre is van példa: Törökországban, a Chimaera-hegyen, a „lángoló kövek" jelensége mögött folyamatos gáz-kiáramlás áll, jelentős hidrogén-tartalommal.

A hidrogén újrafelfedezésével párhuzamosan a felszín alatti tér (néhány km mélységig) hasznosítása is kurrens téma. A különféle gázok (földgáz, szén-dioxid, hidrogén) tárolása és szénhidrogének rétegrepesztéses technikával való kitermelése számos innovációt eredményezett a műszaki földtudományban. Így született meg az elképzelés, hogy a természetes formában kevésnek gondolt hidrogén képződését valamilyen módszerrel elő lehetne segíteni. Ez az eljárás „*stimulated hydrogen*" kifejezésként került be a köztudatba és a lényege, hogy a feltételezett hidrogéntermelő rétegbe valamilyen stimuláló fluidumot, (pl. kontrollált pH-jú vizet, ami elősegítheti a kőzetek oldódását), vagy a víz redukcióját elősegítő katalizátor elemeket juttatnak.

Az injektálandó víz pH-ját CO_2-dal telítve, vagy keverve lehet befolyásolni, ami így a szén-dioxid felszín alatti tárolásával összekapcsolódik. Ezzel szemben a katalizátoros elképzelés szerint a felszínen, vagy a felszín közelében levő, hidrogén-termelésre alkalmas, könnyen hozzáférhető kőzetekből, pl. érctelepek vastartalmú meddőhányójából ki lehetne nyerni a hidrogént egy erre optimalizált vegyészeti eljárással, azaz hasonlóképpen, mint ahogy különféle kőzetekből az ércek kinyerésére is vannak már jól kidolgozott módszerek. Ezeknek a technológiáknak a megalapozásában a geológus feladata a geokémiai reakciók megértése, a hidrogén-termelésre alkalmas kőzetek megtalálása, amelyek egyelőre nagy kihívást jelentenek, mert a geológiai hidrogén kitermelésének elősegítéséhez drasztikusan meg kell változtatni az eddig rutinszerű eljárásokat.

Jelenleg aktív geológiai hidrogén projektek:

Az Egyesült Államokban 2023-ra már 40 cég foglalkozott természetes hidrogénnel. Jelenleg aktív kutatás zajlik Kansas, Nebraska, Iowa államokban, továbbá Ausztrália déli részén a Kenguru-szigeten. A US Department of Energy (DoE) 2024-ben kutatási programot indított az Advanced Research Projects Agency-Energy (ARPA-E) keretein belül és 20 millió USD értékben támogatott alkalmazott kutatási projekteket stimulált hidrogén témájában.

Az Európai Unió Clean Hydrogen Partnership 2025-ös pályázati felhívásai között a természetes hidrogén kutatása is szerepelt. Az európai természetes hidrogén projektek kibontakozását egyelőre a szabályozási környezet hátráltatja, szemben az USA-val, ahol a földtani kutatáshoz könnyebb fúrási engedélyt szerezni.

A geológiai hidrogén egyelőre kutatási fázisban van. Jelenleg a kockázati tőke befektetőktől várható a kutatás és pilot projektek finanszírozása, azaz tipikus „high risk high reward" vállalkozás. A következő években azonban kiderülhet, hogy valódi kihívója lesz-e a szénhidrogénnek.

Forrás:

https://geoh2.beg.utexas.edu/
https://news.utexas.edu/2024/03/04/producing-hydrogen-from-rocks-gains-steam-as-scientists-advance-new-methods/
https://hyterra.com/why-hydrogen/
https://energy.sandia.gov/geologic-hydrogen/
https://www.energymining.sa.gov.au/industry/energy-resources/regulation/projects-of-public-interest/natural-hydrogen-exploration/gold-hydrogen-natural-hydrogen-exploration
Prinzhofer et al. (2018)
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193

Ez a cikk önállóan is elérhető honlapunkon: www.hfc-hungary.org/tan/GO_geologiai_hidrogen.pdf

Kiegészítés: az MHT Egyesület 2024.04.11-i tagvállalati hidrogén workshopján Gelencsér Orsolya személyesen is előadott e témában „*A hidrogén felszín alatti tárolásának kutatása az ELTE-n*" címmel – *a Szerk.*