

A cikk megjelenését a Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal RRF-2.3.1-21-2022-0009 azonosító számú projektjének keretében. A Megújuló Energiák Nemzeti Laboratóriumot létrehozó intézmények: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Debreceni Egyetem, Energetikai Kutatóközpont, Miskolci Egyetem, Neumann János Egyetem, Pannon Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, Széchenyi István Egyetem, Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi Kutatóközpont.

Lente Gábor

Hidrogénbányászat

Ennek a cikknek a szerzője az utóbbi néhány évben meglehetősen elkeseredve látta a jövőbeli hidrogén-felhasználást tervező különböző fórumokon sok gazdasági és politikai döntéshozó azon tévhitét, amely szerint a hidrogén a kőszénhez vagy napenergiához hasonló, önálló energiaforrás. Gyakran kellett ilyenkor azt magyarázni, hogy az elemi hidrogén a jelenlegi elképzelések szerint energiatárolási mód, s ebben a formában nem található meg a természetben jelentős mennyiségben, így az egyre súlyosabb energiaválságot sem oldhatja meg önmagában.

Jelenleg két fő módszerrel állítanak elő hidrogént: az olcsó (jelenleg 2 USA dollár/kg költségű) eljárás fosszilis tüzelőanyagokból, mindenekelőtt földgázból generálja a legkönnyebb elemet kémiai reakciókkal, így az előállított mennyiséggel arányosan szén-dioxid is keletkezik. Ezt a mai színes világban gyakran szürke hidrogénként emlegetik. A másik, jóval drágább módszer (kb. 5 USA dollár/kg) víz elektrolízisén alapul, itt a végterméket zöld hidrogén néven is emlegetik. Persze ez a színbesorolás csak abban az esetben lehet valóság, ha az elektromos áram termelése sem jár üvegházhatású anyagok kibocsátásával.

Az utóbbi hónapokban a korábbi ismeretek fényében meglepő fordulat történt az energiaiparban: egyre inkább lendületet vesz a nagy hidrogéntartalmú földgázlelőhelyek kutatása. [1] Úgy tűnik, a hidrogéngazdaság számára a bányászat is komoly, elsődleges nyersanyagforrás lesz majd. Az elvi lehetőség már egy bő évszázada ismert: Dmitrij Ivanovics Mengyelejev 1888-ban észlelte, hogy egyes ukrain szénbányákban a levegő viszonylag sok elemi hidrogént tartalmaz, amely a kőzetrétegekből folyamatosan szivárog a légtérbe. Az első olyan jel, amely komoly gazdasági hasznosíthatóságra is utalt, egy másik évszázadban, egy másik földrészen tűnt fel.

A nyugat-afrikai Maliban, a fővárostól mintegy hatvan kilométerre, egy Bourakébougou nevű falu mellett 1987-ben kutat akartak fúrni. A környék nagyon száraz vidék a Szahara déli határán, és még 108 méter mélységben sem bukkantak hasznosítható vízre. Fel is adták a kutatást, a lyukból viszont folyamatosan furcsa szél fűjt. Egy munkás egy nap égő cigarettával a szájában akart a nyílásba benézni: ennek a következménye zajos robbanás lett komoly égési sérülésekkel kísérve, s a földből előtörő gáz attól kezdve éjjel-nappal égett. De ilyen tüzet még egyetlen helybeli sem látott: a lángnak alig látható, nappal kékes árnyalatú színe volt és egyáltalán nem kormozott. Éjjel inkább aranyszínűnek látszott az égő kút, s a fúrást végző cégnek hetekig tartott az oltás, majd a nyílás biztonságos lezárása. Így is maradt minden 2012-ig, amikor a terület bányászati jogait birtokló Petroma nevű, kőolaj-

és földgázkitermeléssel foglalkozó cég egy mobillaboratóriumban meghatározta az előtörő földgáz összetételét: 98%-ban elemi hidrogén volt. Nem ismertek még korábbi ipari példát ilyesmire, de elszánták magukat arra, hogy ezt a kivételes adottságot nem hagyják kiaknázatlanul.



**Hidrogénkút
Bourakébougou
mellett Maliban**

Először egy Ford által gyártott belső égésű motort alakították át hidrogénüzeművé, és ezzel az elektromosságot korábban csak hírből ismerő Bourakébougou harminc kilowatt teljesítményű áramforrást kapott. Ennek az áldásos hatását a közösség minden lakója megtapasztalhatta. A Petroma tulajdonosa meglátta a jelenlegben a komoly üzleti lehetőséget, és cégét át is keresztelte Hydroma névre.

A felfedezés híre eljutott olyan, a tudomány fősodrába nem tartozó szakemberekhez is, akik már régóta állították, hogy geológiai folyamatokban nagy mennyiségű hidrogénnek is keletkeznie kell, csak nem ott, ahol földgáz és kőolaj halmozódik fel. A Maliban tett megfigyeléseket 2018-ban publikálták az International Journal of Hydrogen Energy folyóiratban, [2] s azóta sok befektető és kutató figyelmé fordult a jelenség felé. 2019-ben az USA Nebraska államában is találtak hasonló földgázt, 2022 októberében pedig a Geological Society of America által szervezett tudományos ülésen részletes földtani modellt is bemutatottak már, amely szerint a hidrogén olyan sebességgel keletkezik az ilyen helyeken, hogy akár megújuló energiaforrásnak is nyugodtan lehet nevezni. A legtöbb befektető Ausztráliában kezdett üzleti tevékenységet.

Vajon hogyan lehet az, hogy az ilyen, hidrogént gazdaságilag is számottevő mértékben tartalmazó földgázok pusztán létezése is ennyire sokáig elkerülte a tudomány és az ipar figyelmét? A válasz erre a kérdésre összetett, de nagyon is logikus. A nagyarányú bányászati földtani kutatások eddig elsősorban a fosszilis energiaforrások, vagyis a földgáz-, kőolaj- és szénlelőhelyek feltérképezését célozták meg. A keletkezésüket értelmesebb elmé-



Kísérleti hidrogénkitermelés az USA Nebraska államában

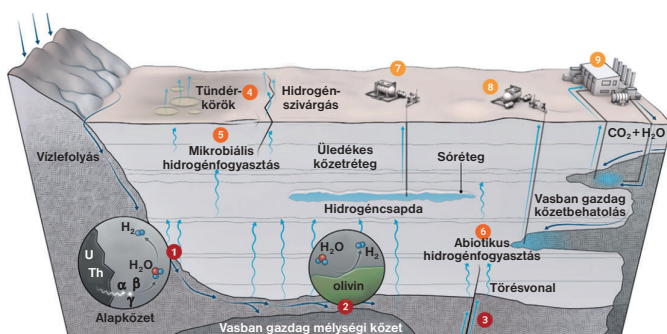
letekben nincs is hely a hidrogén számára. Valóban: a mára megismert hidrogéntartalmú földgázok lelőhelyeinek földtani sajátosságai nagyon eltérnek azoktól a főként üledékes jellegű helyektől, amelyeket eddig kutatásra érdemesnek tartottak. Az elterjedt elméletek azt is világosan jóslják, hogy ha keletkezne is hidrogén, akkor azt a kőzetek nem tartanák meg, vagyis nem halmozódhatna fel sehol. Az analitikai munkánál komoly probléma, hogy a gázok összennyomhatósága miatt összetételük elemzésekor térfogati mérleget csak igen korlátozottan lehet csinálni, a tömegmérlegben pedig még nagy mennyiségű hidrogén is elveszhet a mérési hibában akkor, ha nem keresik céltudatosan a jelenlétét.

A mai hidrogénbányászati helyzet meglehetősen hasonlít ahhoz az állapothoz, amely a kőolajiparban uralkodott a 19. század közepén. Néhány szerény hozamú olajkút Kaliforniában és Irakban már ismeretes volt, de a nagy hozamú, föld alatti lelőhelyek létezése egészen addig rejtve maradt, amíg 1857. augusztus 27-én Edwin Drake bányavállalkozó a pennsylvaniai Titusville közelében, 21 méter mélyen rá nem talált az első komoly olajmezőre.

Azt talán leírni sem kellene, hogy a bányászatra alkalmas hidrogén keletkezési módja még egyáltalán nem világos. A szénhidrogén-ipari analógia azonban itt is érvényes lehet: a tömeges kőolajbányászat kezdetekor még csak nagyon kezdetleges elképzelések voltak az olaj keletkezési módjáról. A hidrogénben gazdag

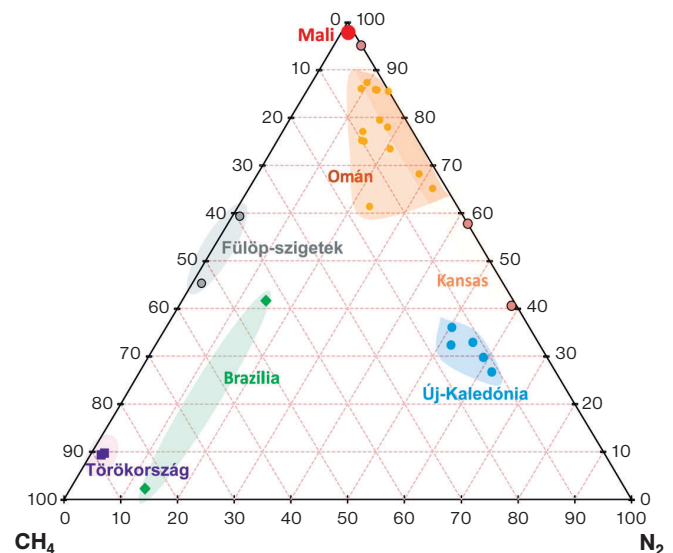
A hidrogén keletkezésére vonatkozó elképzelés. [1] <1–3>

- Hidrogénkeletkezés. 1:** a kőzetek radioaktív sugárzása bontja a vizet; **2:** a víz és vasban gazdag ásványok reakciójában hidrogén keletkezik; **3:** a Föld magjában keletkező hidrogén felfelé szivárog. **<4–6>** Hidrogénvesztés. **4:** a keletkező hidrogén törések mentén gyorsan a felszínre jut és úgynevezett tündérkörökben kerül a levegőbe; **5:** a felszínhez közeli rétegekben élő mikrobák energiaforrásként használhatják a hidrogént; **6:** mélyebb rétegekben a hidrogénből metán és víz keletkezhet, ez utóbbi beépülhet a kőzetalkotó ásványokba. **<7–9>** Kitermelés. **7:** a hidrogén a földgázhoz hasonlóan felhalmozódhat, ezek a készletek fúrásokkal elérhetőek; **8:** a vasban gazdag kőzetrétegekből közvetlenül is kinyerhető lehet; **9:** a hidrogénkitermelést elősegítheti, ha vasban gazdag kőzetekbe vizet juttatnak le



földgáz az eddigi feltételezéseket szerint víz redukciójával keletkezhet a földkéreg mélyebb rétegeiben, elsősorban az olivin nevű, elég elterjedt vas-magnézium-szilikátot tartalmazó kőzetekben, vagy esetleg akár még elemi vassal lezajló reakció révén. [3] Mivel így rövid idő alatt jelentős mennyiségű hidrogén keletkezik, nem is kell feltétlenül felhalmozódnia gáztömör kőzetrétegekben ahhoz, hogy kereskedelmi hasznosítható mennyiségben kitermelhető legyen, illetve egy lelőhely kimerülése sem feltétlenül kóvetkezik be. A Pireneusok spanyol részén lévő hidrogénforrások kinyerésére nemrég alapított Helios Aragon nevű cég szerint az ő területükön a teljes várható önköltség 50 és 70 dollárcent között lehet a hidrogén egy kilogrammjára vonatkoztatva. Ezt a zöld és szürke hidrogén mintájára akár arany hidrogénnek sem lenne túlzás nevezni. A legnagyobb akadály jelenleg a spanyol bányatörvény, amelyben egyelőre a kőolajra kidolgozott szabályok vonatkoznak a hidrogénbányászatra is.

Ausztráliában már létezik Gold Hydrogen nevű cég, amelynek tevékenysége erre a területre koncentrál. A kontinens déli partjainál fekvő Kenguru-szigeten, s ennek a közelében, a Yorke-félszigeten már 1921-ben készült feljegyzések is beszámoltak arról, hogy kőolajkutatás közben 70–80% hidrogént tartalmazó gáz tört elő a földből. 2021-ben Dél-Ausztrália szövetségi államban a törvényi bányászabályozásokon is változtattak, hogy a hidrogén kitermelését elősegítsék. A Gold Hydrogen mintegy 8000 négyzetkilométerre szerzett kutatási jogokat, és részvénykibocsátással 20 millió dollárnyi befektetést vonzott. Alig néhány héten belül a versenytársak is megjelentek a területen.



Néhány ismert hidrogéntartalmú földgáz összetétele a világon [3]

Mindezen erőfeszítések ellenére tüzeti alapon folyó hidrogénbányászat jelenleg csak Maliban folyik. Bourakébougou közelében már harminc kísérleti fúrás végeztek, s az azonnal kitermelhető készletet mintegy ötmillió tonnára becsülik. A Hydroma Szenegálban, Mauritániában, Nígerben és Bissau-Guineában leányvállalatokat alapított: Nyugat-Afrika lehet a hidrogénjövő egyik fontos központja.

IRODALOM

[1] E. Hand, Hidden Hydrogen. Science (2023) 379(6633), 630–636.
 [2] A. Prinzhofner, C. S. T. Cissé, A. B. Diallo, Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). International Journal of Hydrogen Energy (2018) 43(42), 19315–19326.
 [3] A. Prinzhofner, M. C. Cacas-Stentz, Natural hydrogen and blend gas: a dynamic model of accumulation. International Journal of Hydrogen Energy (2023) DOI: 10.1016/j.ijhydene.2023.03.060