

A cikk megjelenését a Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium támogatta a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal RRF-2.3.1-21-2022-00009 azonosító számú projektjének keretében. A Megújuló Energiák Nemzeti Laboratóriumot létrehozó intézmények: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Debreceni Egyetem, Energiatudományi Kutatóközpont, Miskolci Egyetem, Neumann János Egyetem, Pannon Egyetem, Pécsi Tudományegyetem, Széchenyi István Egyetem, Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi Kutatóközpont.

Lente Gábor

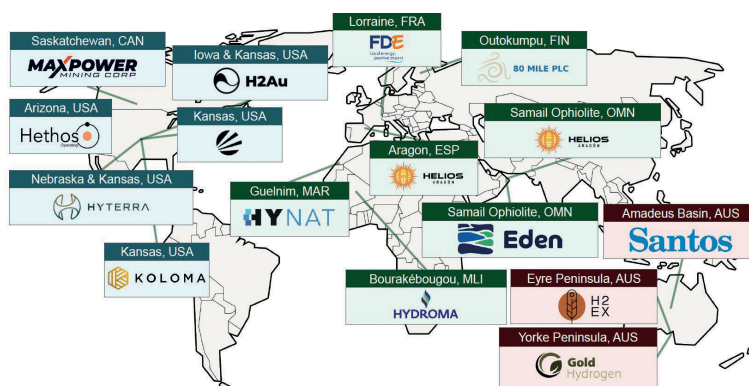
A geológiai hidrogén keletkezésének nyomában

A Magyar Kémikusok Lapja az utóbbi években többször beszámolt arról, hogy a világban egyre gyakrabban bukkannak nagy hidrogéntartalmú földgázra. Az első ilyen, kereskedelmi jelentőségű készletet Maliban találták [1], másfél éve egy albániai krómbányában tapasztalták igen számottevő H_2 -kibocsátást [2]. Beszámoltunk arról a cikkről is, amelyben az Amerikai Egyesült Államok szövetségi földtani intézetének (United States Geological Survey, USGS) munkatársai a jelenlegi teljes geológiai hidrogénkészletet kb. 5×10^{12} tonnára becsülték [3]. Ez hosszan képes lenne biztosítani az emberi civilizáció energiaellátását még úgy is, ha igen csekély hányada aknázható ki.

A kézműltban több lényeges újabb publikáció is megjelent a természetes hidrogénkeletkezésről. A USGS Prospectivity Mapping for Geologic Hydrogen címmel adott ki szabad elérésű tanulmányt az év elején [4]. Az Amerikai Kémiai Társaság hírmagazinja, a *Chemical & Engineering News* 2024. március 17-i számában közölt terjedelmes összefoglalót a geológiai hidrogénnel kapcsolatos kutatásokról és ipari erőfeszítésekről [5]. 2025. április 24-én az USA Energiaügyi Minisztériumának (Department of Energy, DOE) szervezésében a H2IQ Hour webinárium-sorozatban összefoglaló előadást lehetett meghallgatni, amelynek diasora szabadon letölthető [6]. Az előadók Douglas Wicks (DOE) és Geoffrey Ellis (USGS) voltak. Ellis egy korábbi, geológiai hidrogénről szóló, 90 perces előadását is ingyen végig lehet nézni az interneten [7].

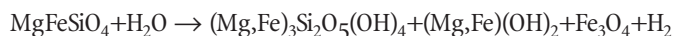
Az elmúlt hónapok egyik fontos tanulsága, hogy szerte a világon számos, nagyrészt újonnan alapított cég kezdett el foglalkozni a természetes hidrogén hasznosításával. A Maliban működő Hydroma cégnek már jelentős tapasztalata is van ebben, de ott a kitermelés jelenlegi mérete egyetlen falu (Bourakébougou) energiaellátására elegendő. Az eddigi tapasztalatok szerint meglepő mennyiségben találnak természetes forrásokból származó hidrogénkészleteket: a korábban szénhidrogének kutatására koncentrált ipar nem jó helyen és nem megfelelő módszerekkel vé-

gezte a felméréseket ahhoz, hogy ezeket felfedezze. A kőolaj- és földgáztermelésben használatos eszközök és módszerek viszont csekély módosítással várhatóan alkalmasak lesznek hidrogénbányászatra is. Geoffrey Ellis a dolgok jelenlegi állását így foglalta össze: minél jobban keressük a geológiai hidrogént, annál többet találunk belőle.

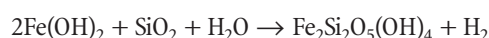


A geológiai hidrogén hasznosításával foglalkozó cégek a világban

A geológiai kutatások révén sikerült közelebb kerülni annak megértéséhez, hogy hogyan keletkezhet a kőzetekben elemi hidrogén. Valószínű mód lehet például, ha nagy vastartalmú szilikátok jelentős mennyiségű vízzel érintkeznek. A vizsgálatok jelenlegi állása szerint az ilyenkor lezajló folyamatot a következő, nem rendezett egyenletben lehet összefoglalni:



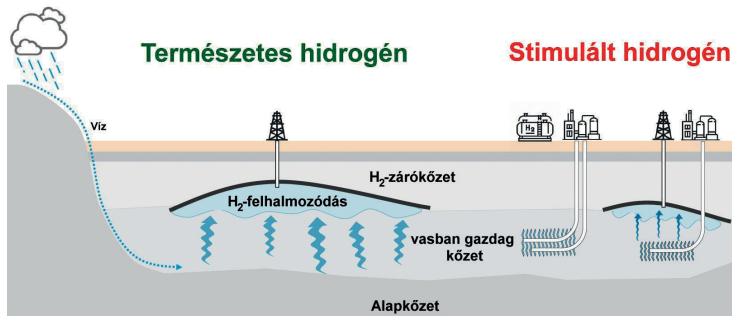
A reakció lényege, hogy a kiindulási oldalon szereplő olivin csak +2-es oxidációs állapotú vasat tartalmaz, s míg a termékoldalon elsőként és másodikként felírt szerpentinre és (szilíciumot nem tartalmazó) brucitra ugyanez igaz, addig a harmadik termék, a magnetit már +3-as oxidációs állapotban is tartalmaz vasat, így keletkezésének a víz redukciójával kell járnia, ami hidrogén keletkezését eredményezi. A terméként keletkező brucit is továbbreagálhat vízzel és kvarccal vas(III)-szerpentint és hidrogént képezve:





A bázikus és ultrabázikus kőzetek magnéziumban gazdag szilikátjait (olivin, piroxén, peridotit) szerpentiné átalakító folyamat már korábbról is jól ismert volt a geológiában, a tankönyvek szerpentinisedés néven írnak róla. Magyarországtól nem túl messze, Bosznia-Hercegovina északi részén is ismert olyan geológiai környezet, ahol ez magyarázhatja a kőzetekben észlelt hidrogénkeletkezést [8].

Ha ez a keletkezési mechanizmus megközelíti a valóságot, akkor megfelelő geológiai körülmények között, olivintartalmú kőzetekben nemcsak természetes folyamat, hanem szándékos emberi beavatkozással elért vízbejuttatás is eredményezheti elemi hidrogén keletkezését. A USGS ebben még a természetes hidrogénkészletek kiaknázásánál is jóval nagyobb lehetőséget lát; a stimulált hidrogénbányászat megnevezést használják rá. A megfelelő technológiák kidolgozása már meg is indult néhány vezető amerikai egyetemen és laboratóriumban (MIT, Berkeley, Texas Tech, PennState, Argonne, USC, Colorado School of Mines). Minden kétséget kizáróan igen jelentős ipari előnyökkel járna, ha a stimulált hidrogénbányászatot nagy méretben sikerülne megvalósítani, hiszen a termelés így szabályozhatóbb, az infrastruktúrát kedvező adottságú helyszínekre lehetne összpontosítani, az olajiparral ellentétben a kitermelési helyeket sem kellene gyakran változtatni.



Természetes és stimulált hidrogénbányászat

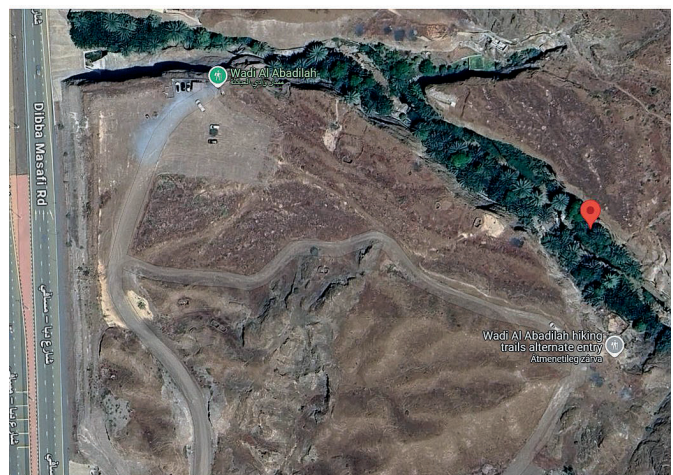
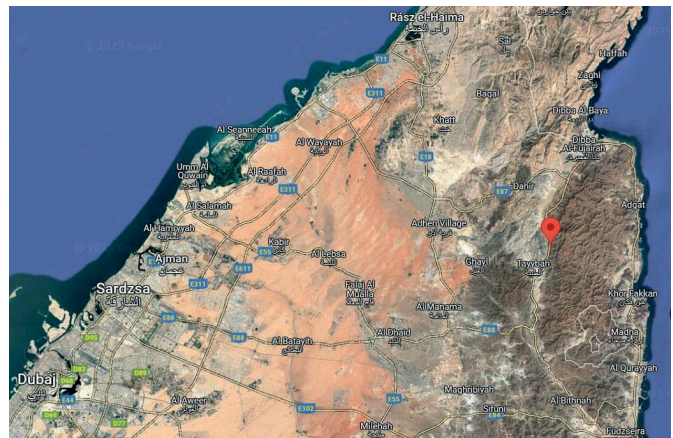
Még 2024-ben érdekes megfigyelésekről számolt be egy tudományos cikk [9]. Omán és az Egyesült Arab Emírátsok területén régebben is ismertek olyan források, ahol a vízfeltöréssel együtt intenzív buborékképződés formájában gázszivárgás is megfigyelhető. Néhány ilyen helyen vettek gázmintát, s olyan módszerrel analizálták, amely a hidrogén meghatározására is alkalmas. Az eredmények feldolgozását ezekben az esetekben nehezíti, hogy mintavétel közben nem lehet elkerülni a levegővel való keveredést, ezért ennek figyelembevételére korrekciós módszert kellett kidolgozni. A kísérletsorozatban két mintavevő helyen is jelentős mennyiségű hidrogént találtak.

A Wadi Al Abadilah, turisták számára is látogatható szurdokvölgyében (é. sz. 25° 26' 24,9", k. h. 56° 11' 56,1") egy forrásból olyan gáz tört fel, amelynek 88%-a H₂, 8%-a N₂ és 4%-a CH₄. Ettől szűk 15 kilométerre északra, a Wadi Ajali kénes tavcskától nem messze (é. sz. 25° 32' 34,6", k. h. 56° 09' 19,9") pedig a gázösszetétel hozzávetőleg 45% H₂, 54% N₂ és 1% Ar volt. Az itteni geológiai viszonyokról korábbi információk alapján biztos, hogy a szerpentinisedés nagy szerepet játszott a kialakulásukban. A terület kivételes sajátága, hogy az ebben részt vevő kőzetek a felszínen vagy annak a közvetlen közelében találhatók, így azok további tanulmányozása jelentős eredményeket hozhat a geológiai hidrogén keletkezési mechanizmusának feltárásában.



Természetes hidrogénképződési hely Ománban

A Wadi Al Abadilah helye az Arab-félsziget Hormuzi-szoroshoz közel eső kiszögellésén a Google Earth műholdképén két különböző méretarányban



IRODALOM

- [1] <https://www.mkl.mke.org.hu/2023-evi-szamok/2023-szeptember.html?id=573>
- [2] <https://www.mkl.mke.org.hu/2024-evi-szamok/2024-aprilis.html?id=641>
- [3] <https://www.mkl.mke.org.hu/2025-evi-szamok/2025-aprilis.html?id=752>
- [4] <https://pubs.usgs.gov/publication/pp1900>
- [5] <https://cen.acs.org/energy/hydrogen-power/Trillions-tons-hydrogen-waiting-under/103/i7>
- [6] <https://www.energy.gov/sites/default/files/2025-05/h2iqhour-04242025.pdf>
- [7] <https://www.aap.org/career/training/in-person/distinguished-lecture/presentation/articleid/68007>
- [8] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292717302512>
- [9] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319925008353>