

Az energetikai átmenet kérdései: A hidrogén kihívásainak és lehetőségeinek feltárása

Navigating the energy transition: Exploring the challenges and opportunities of hydrogen

ORBÁN Alexandra¹, BACIU Călin¹, KIS Boglárka-Mercedesz^{2,3},
SILYE Lóránd², SZALAY Roland², TARI Gábor⁴

¹ Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Környezettudományi és Környezetmérnöki Kar, Kolozsvár,
Fântânele utca 30, RO-400294, Románia

² Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Biológia és Geológia Kar, Geológiai Intézet, Kolozsvár,
M. Kogălniceanu utca 1, RO-400084, Románia

³ MTA-ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport, Budapest, Pázmány sétány 1/C, Hu-1117, Magyarország

⁴ OMV Exploration & Production, GmbH, Bécs, Trabrennstrasse 6-8, A-1020, Ausztria

Abstract

Hydrogen plays a key part in the energy transition since it emits no carbon dioxide when burned. Industrial manufacturing of green, black/grey and blue hydrogen does not appear to be the most environmentally beneficial solution and is also not cost effective. Therefore recent studies focused on the identification of natural (white/gold) hydrogen sources.

Keywords: hydrogen, energy transition, low carbon emission, white hydrogen.

Kulcsszavak: hidrogén, energetikai átmenet, alacsony szénkibocsátás, fehér hidrogén.

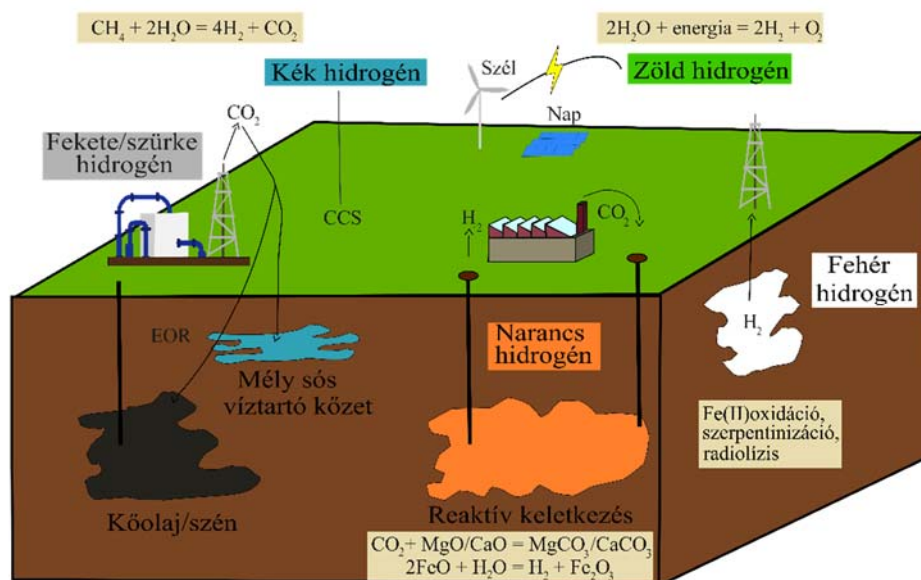
1. BEVEZETÉS

A rendszeresen használt fosszilis eredetű üzemanyagok egy olyan szennyezést hoztak létre mindennapjainkban, melyet csakis egy alacsony szén (szén-dioxid és szén-monoxid) kibocsátású technológia tud megoldani. A szennyezés növekedése rengeteg problémát okozott a környezetünkben, hozzájárulva a globális felmelegedés felgyorsításához [1]. Az energetikai átállásnál meghatározó szerepet tölt be a hidrogén, mivel nem termel semmilyen szennyező anyagot, ha égetjük kizárólag hőt és vizet eredményez.

2. A HIDROGÉN ELŐÁLLÍTÁSA ÉS EREDETE

Napjainkban a mesterségesen előállított hidrogén különböző ipari műveletek során jön létre, melyet az ipar különböző szín kóddal jelöl. A zöld hidrogén a víz elektrolízisének eredménye, melyet a megújuló energiák (nap, szél) kombinálásával a hoznak létre (1. ábra). A fekete vagy szürke, a mai hidrogén előállítás 96%-át képezi, mely a gőzzel való reformálása a szénnek és kőolajnak [2]. A CCS (Carbon Capture and Storage / Szén megfogás és tárolás) a szén-dioxid beinjektálását jelenti, egy föld alatti rétegbe, hosszú távú tárolásra alkalmazva [3], mely a kék hidrogént képviseli. Az a folyamat, amely során a szén a földkéregben tárolódik, elősegíti a klímaváltozás hatásainak csökkentését [4]. A narancs hidrogén kifejezés a következő folyamatot jelenti: szénben gazdag vegyület beinjektálása egy reagáló kőzetbe, amely során hematit és hidrogén keletkezik [2].

A természetes (fehér/arany) hidrogén keletkezése két nagy csoportra osztható, mégpedig ezek a biotikus és abiotikus folyamatok. A leggyakrabban előforduló abiotikus folyamat az ultramafikus (UM) kőzetek szerpentinizációja, mely a Fe (II) ásványok oxidációját jelenti víz jelenlétében. Ilyen ásvány, ami ezen kőzetekben leggyakrabban előfordul, az olivin, amely ha a vízzel reakcióba lép létrehozza a szerpentin nevű ásványcsoportot és emellett H₂ is keletkezik [5]–[7]. További abiotikus folyamat a víz radiolízise urán gazdag kőzetekben [8], [9], vulkáni kitörés során történő H₂ kibocsátás [10] és a bázikus magma kristályosodása során oxidált Fe²⁺ átalakulása Fe³⁺ tartalmú ásvánnyá [11], [12]. A biotikus folyamatok egyike a szerves anyag erjedése anaerob baktériumok által, ami a diagenézis során a C-H kémiai kötések felbontja, így kerogént és hidrogént hoz létre [13], [14]. Több fajtája van mindkét természetes keletkezési folyamatnak, a biotikusnak összesen 24 és az abiotikusnak pedig 4 [15].



1. ábra

A hidrogén természetes és mesterséges előfordulásai [2].

3. A FEHÉR HIDROGÉN ELŐFORDULÁSÁNAK GEOLÓGIAI KÖRNYEZETEI

Két fő geológiai környezetben jöhet létre természetes hidrogénkibocsátás: 1.) ultrabázikus szerpentinizált kőzetekben és 2.) prekambriumi kristályos pajzsokon [16]. Ezért fordul a figyelem az ofiolit masszívumokra Ománban [17], [18], Új-Kaledóniában [19], Törökországban [20], [21] és Albániában [22]. A hidrogén prekambriumi kőzetből való emissziója Oroszországban volt eddig azonosítva, ahol egy úgynevezett „tündér körhöz” (fairy cycle) kapcsolódik a keletkezése [23]. A „tündér körök” egy olyan felszín jelentenek, ahol a növényzet a feláramló hidrogén hatására rendellenesen növekszik. Ilyen számos más helyen is megtalálható a földünkön: Ausztrália [24], Mali [25] és Amerika [26].

4. MAGAS HIDROGÉN TARTALMÚ GÁZMÉRÉSEK VILÁGSZERTE

A legelőször dokumentált természetes hidrogén mező, Maliban (Bourakébogou) található, ahol véletlenül fedezték fel vízfúrások során a 98%-os hidrogén tartalmú gázt [25], [27]. A Törökországban található Tekirova ofiolitban Etiópe és munkatársai [28] 10% H₂ tartalmú gázt azonosítottak, a maradék 90% metán mellett. Szintén ofiolitos masszívumban mértek 36,07% hidrogént Új-Kaledóniában, ugyancsak metán jelenlétében [19]. Hasonlóan Ománban is magas (87,3%) hidrogén arányt mértek, alacsonyabb metán előfordulással [29]. Az Albániában megvalósult kutatásban 84% hidrogént és 13,2% metánt sikerült beazonosítani egy föld alatti kromit bányában, ami szintén az ott jelenlévő ofiolitokhoz kapcsolódik [22].

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] SCHIPPER, E. L. F., TANNER, T., DUPE, O. P., ADAMS, K. M., HUK, S. 2020: The debate: Is global development adapting to climate change?, *World Development Perspectives*, 18:100205.
- [2] OSSELIN, F., SOULAIN, C., FAUGUROLLES, C., GAUCHER, E. C., SCAILLET, B., PICHAVANT, M. 2022: Orange hydrogen is the new green, *Nature Geoscience*, 15:10, 765–769.
- [3] ZHANG, Z., HUISINGH, D. 2016: Carbon dioxide storage schemes: Technology, assessment and deployment, *Journal of Cleaner Production*, 142, 1055–1064.
- [4] GAMBHIR, A., TAVONI, M. 2019: Direct Air Carbon Capture and Sequestration: How It Works and How It Could Contribute to Climate-Change Mitigation, *One Earth*, 1:4, 405–409.
- [5] MOODY, J. B. 1976: Serpentinization: a review, *Lithos*, 9:2, 125–138.
- [6] MAYHEW, L. E., ELLISON, E. T., MCCOLLOM, T. M., TRAINOR, T. P., TEMPLETON, A. S. 2013: Hydrogen generation from low-temperature water-rock reactions, *Nature Geoscience*, 6:6,478–484.

- [7] TRUCHE, L., MCCOLLOM, T. M., MARTINEZ, I. 2020: Hydrogen and abiotic hydrocarbons: Molecules that change the world, *Elements*, 16:1, 3–18.
- [8] DUBESSY, J., PAGEL, M., BENY, J.-M., CHRISTENSEN, H., HICKEL, B., KOSZTOLANYI, C., POTY, B. 1988: Radiolysis evidenced by H₂-O₂ and H₂-bearing fluid inclusions in three uranium deposits, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52:5, 1155–1167.
- [9] LIN, L.-H., HALL, J., LIPPMANN-PIPKE, J., WARD, J. A., SHERWOOD LOLLAR, B., DEFLAUN, M., ROTMEL, R., MOSER, D., GIHRING, T. M., MISLOWACK, B., ONSOTT, T. C. 2005: Radiolytic H₂ in continental crust: Nuclear power for deep subsurface microbial communities, *Geochemistry, Geophysics Geosystems*, 6:7, 1–13, 2005.
- [10] HOLLAND, H. D. 2002: Volcanic gases, black smokers, and the great oxidation event, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66:21, 3811–3826.
- [11] SHERWOOD LOLLAR, B., ONSOTT, T. C., LACRAMPE-COULOUME, G., BALLENTINE, C. J. 2014: The contribution of the Precambrian continental lithosphere to global H₂ production *Nature*, 516:7531, 379–382.
- [12] SCHRENK, M. O., BRAZELTON, W. J., LANG, S. Q. 2013: Serpentinization, Carbon, and Deep Life, *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 75, 575–606.
- [13] ADAM, N., PERNER, M. 2018: Microbially mediated hydrogen cycling in deep-sea hydrothermal vents, *Frontiers in Microbiology*, 9.
- [14] CONRAD, R. 1996: Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO), *Microbiological Reviews*, 60-4, 609–640.
- [15] MILKOV, A. V. 2022: Molecular hydrogen in surface and subsurface natural gases : Abundance , origins and ideas for deliberate exploration, *Earth-Science Reviews*, 230, 104063.
- [16] GAUCHER, E. C. 2020: New perspectives in the industrial exploration for native hydrogen, *Elements*, 9–11.
- [17] DEVILLE, E. P., PRINZHOFER, A. 2009: Natural flows of H₂-rich fluids in the ophiolites of Oman and the Philippines : Tectonic control of migration pathways and associated diagenetic processes, *American Geophysical Union*, 1–2.
- [18] ZGONNIK, V., BEAUMONT, V., LARIN, N., PILLOT, D., DEVILLE, E. 2019: Diffused flow of molecular hydrogen through the Western Hajar mountains, Northern Oman, *Arabian Journal of Geosciences*, 12:3.
- [19] DEVILLE, E., PRINZHOFER, A. 2016: The origin of N₂-H₂-CH₄-rich natural gas seepages in ophiolitic context: A major and noble gases study of fluid seepages in New Caledonia, *Chemical Geology*, 440, 139–147.
- [20] HOSGROMEZ, H., ETIOPE, G., YALCIN, M. N. 2008: New evidence for a mixed inorganic and organic origin of the Olympic Chimaera fire (Turkey): A large onshore seepage of abiogenic gas, *Geofluids*, 8:4, 263–273.
- [21] ETIOPE, G. 2023: Massive release of natural hydrogen from a geological seep (Chimaera, Turkey): Gas advection as a proxy of subsurface gas migration and pressurised accumulations, *International Journal of Hydrogen Energy*, 48, 9172–9184.
- [22] TRUCHE, L., DONZÉ, F.-V., GOSKOLLI, E., MUCEKU, B., LOISY, C., MONNIN, C., DUTOIT, H., CEREPI, A. 2024: A deep reservoir for hydrogen drives intense degassing in the Bulqizë ophiolite, *Science*, 383, 618–621.
- [23] LARIN, N., ZGONNIK, V., RODINA, S., DEVILLE, E., PRINZHOFER, A., LARIN, V. N. 2015: Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia, *Natural Resources Research*, 24:3, 369–383.
- [24] FRERY, E., LANGHI, L., MAISON, M., MORETTI, I. 2021: Natural hydrogen seeps identified in the North Perth Basin, Western Australia, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46, 31158–31173.
- [25] PRINZHOFER, A., TAHARA CISSÉ, C. S., DIALLO, A. B. 2018: Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali), *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, 19315–19326.
- [26] ZGONNIK, V., BEAUMONT, V., DEVILLE, E., LARIN, N., PILLOT, D., FARRELL, K. M. 2015: Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA), *Progress in Earth and Planetary Science*, 2.
- [27] BRIERE, D., JERZYKIEWICZ, T. 2016: On generating a geological model for hydrogen gas in the southern Taoudeni Megabasin (Bourakebougou area, Mali), *AAPG/SEG International Conference & Exhibition*, 2016, 342–342.
- [28] ETIOPE, G., SCHOELL, M., HOSGORMEZ, H. 2011: Abiotic methane flux from the Chimaera seep and Tekirova ophiolites (Turkey): Understanding gas exhalation from low temperature serpentinization and implications for Mars, *Earth and Planetary Science Letters*, 310, 96–104.
- [29] VACQUAND, C., DEVILLE, E., BEAUMONT, V., GUYOT, F., SISSMANN, O., PILLOT, D., ARCILLA, C., PRINZHOFER, A. 2018: Reduced gas seepages in ophiolitic complexes: Evidences for multiple origins of the H₂-CH₄-N₂ gas mixtures, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 223, 437–461.