

## ZÖLD HIDROGÉN

Támba Vénusz Rea – Nagy Nóra

**Absztrakt:** Jelen kutatásban a zöld hidrogén, mint megújuló energiaforrásokból előállított hidrogén lehetőségeit mutatjuk be. A hidrogén a káros anyagok kibocsátásának csökkentésére jó megoldás lehet, egyre nagyobb iránta az érdeklődés és a kereslet. A hidrogént egyébként univerzális jellegű energiahordozónak is nevezhetjük, hiszen számos célra és széles teljesítménytartományban alkalmazható. A közeljövőben a hidrogén alkalmazható lesz például mobiltelefonok, laptopok energiaforrásaként. Ide sorolható még a hidrogén hajtású autók is. Ilyen sokrétű felhasználási lehetőség a hagyományos energiahordozókra általában nem áll fenn, ezért is lenne nagyon kedvező, ha a hidrogént káros anyag kibocsátása nélkül állítanák elő és használnák fel. Az elsődleges cél a hidrogén környezetkímélő előállítás, napjainkban zöld hidrogénnek nevezzük az így előállított hidrogént. A következő évtizedekben sok fejlesztés vár még erre az ágazatra. A jövőbeli fejlődés mindenképp ebbe az irányba mutat, amire érdemes várni és fejleszteni. A jövő generáció tisztább jövője érdekében mindenképp célszerű ezen fejlesztési szegmensre nagyobb figyelmet fordítani.

**Abstract:** In this research, we present the potential of green hydrogen as a renewable energy source. Hydrogen can be a good solution to reduce emissions of harmful substances, and there is a growing interest and demand for it. Hydrogen can also be described as a universal energy carrier, as it can be used for a wide range of purposes and in a wide power range. In the near future, hydrogen will be used to power mobile phones and laptops, for example. It can also be used in hydrogen-powered cars. Such a wide range of applications is not generally available for conventional energy carriers, which is why it would be very beneficial if hydrogen could be produced and used without emitting harmful substances. The primary objective is to produce hydrogen in an environmentally friendly way, and the hydrogen produced is nowadays called green hydrogen. There are many developments in this sector in the coming decades. Future developments will certainly point in this direction, which is worth waiting for and developing. For a cleaner future for the next generation, it is certainly worth paying more attention to this development segment.

*Kulcsszavak:* megújuló energia, zöld hidrogén, klímapolitika

*Keywords:* renewable energy, green hydrogen, climate policy

### 1. Bevezetés

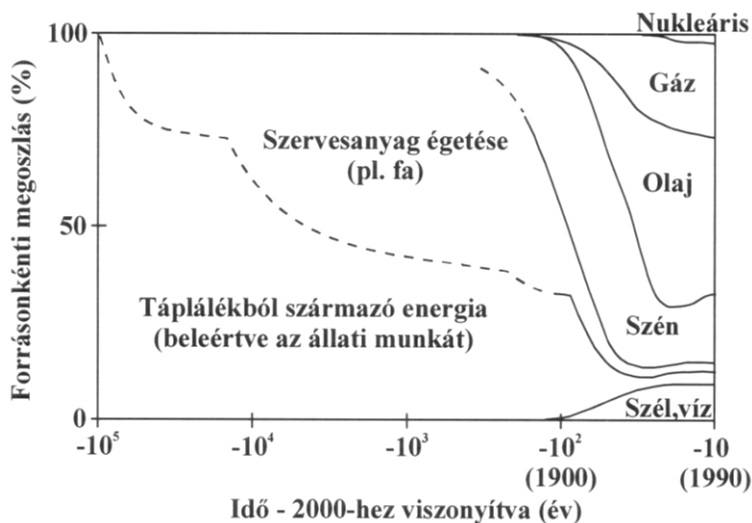
Manapság talán az egyik legfontosabb téma a környezetvédelem, az élhető környezet megteremtése, illetve a káros anyagok kibocsátásának csökkentése. A világ legnagyobb kihívásai közé sorolhatjuk az éghajlatváltozást és a vele járó komoly következményeket. Ezen gondok megoldása az egyik legfőbb feladat most az emberiség számára (*1. ábra*).

A földi éghajlat az idők során mindig változott, azonban a változás mértéke az utóbbi időben kritikus mértéket öltött (*2. ábra*). A változás üteme az ipari forradalom óta igencsak felgyorsult – ma már 40%-kal több szén-dioxid van a légkörben, mint az ipari forradalom előtt. Az üvegházhatású gázok molekulái sokáig maradnak a légkörben, a szén-dioxidé száz évnél is tovább jelen lehet, ami elég szomorú tény.

Említésre méltó a párizsi klímakonferencia ezen a téren. Ugyanis 2015-ben a párizsi klímakonferencián (COP21) a globális közösség ígéretet tett amellett, hogy intézkedéseket tesznek annak érdekében, hogy a globális átlag hőmérsékletemelkedést jóval 2 °C alatt tartsa ebben az évszázadban. Egyre több

ország (pl.: Szaúd-Arábia, Venezuela, Egyesült Államok) vállalta, hogy az évszázad közepére megpróbálja elérni a nettó nulla szén-dioxid (CO<sub>2</sub>) kibocsátást annak érdekében, hogy az átlag hőmérsékletemelkedést 1,5 °C alatt tartsa (Föld Napja Alapítvány, 2012).

1. ábra: Energiamegoszlás az idő függvényében

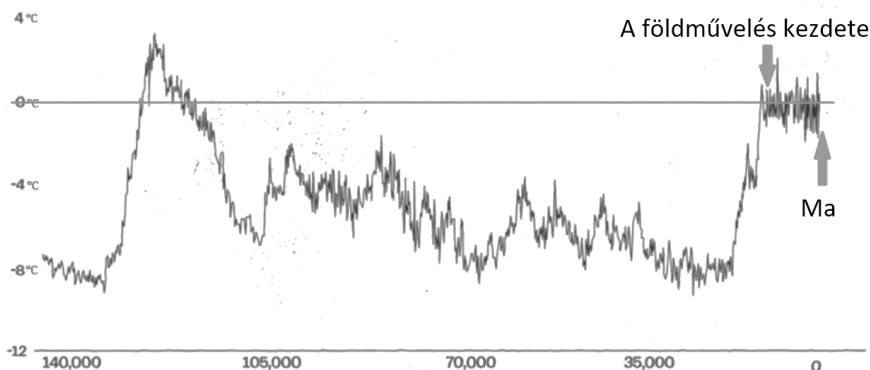


Forrás: Sorensen (2017)

Az olaj, mint fosszilis energia kb. 150 évvel ezelőtti felfedezése felgyorsította az ipari technológiai fejlődést és lehetővé tette a gyors népességnövekedést is. Azonban a stabil éghajlati-környezeti viszonyokat is erősen megváltoztatta. 2015-ben már 1 °C-kal volt melegebb a Föld átlag-hőmérséklete az 1800-as évekhez képest. Itt kezdődhetett el az ember okozta klímaváltság kora (Föld Napja Alapítvány, 2012).

2. ábra: A hőmérséklet ingadozása az elmúlt 140 ezer évben

A hőmérséklet ingadozása az elmúlt 140 ezer évben



Forrás: Föld Napja Alapítvány (2012)

Az energiafogyasztás, az üvegházhatású gázok kibocsátása és a levegő terheltsége folyamatosan növekszik, ezért a fosszilis tüzelőanyagok helyett új alternatívák kifejlesztésére és bevezetésére van szükség. A fenntarthatóság irányába mutató megoldás lenne a karbonsemleges energiatermelési módok nagyobb arányú kiaknázása. Talán nem túlzás azt állítani, hogy egyfajta energetikai forradalmat élünk ma át. Az energiahatékonyság irányába tett innovációk, a dekarbonizációs fejlesztések mind hozzájárulnak egy tisztaenergia-rendszerbe való átmenethez. Ez az átmenet azonban aligha úgy valósul meg, hogy minden eszközt lecserélünk egy hasonló emissziómentesre, hanem egy nagyon mély átalakulás fog végbemenni. A közlekedés és szállítás villamosítása a legígéretesebb ötlet, valamint az épületállomány energiahatékonyságának javítására is minden lehetőséget meg kell ragadni. Fontos terület ezeken kívül a nehézipar, amely a világ szén-dioxid-kibocsátásának egyharmadát adja. Kifejezetten ígéretes energiahatékonysági szabványok érvényesülnek Európában, például a hűtőgépekre, mosógépekre és egyéb háztartási berendezésekre, de sokkal több villamos energiára lesz szükség ahhoz, hogy a gázkazánokat hőszivattyúkra cseréljük, vagy, hogy a közlekedésben is az elektromos autókat részesítsük előnybe (Kiss, 2002).

## 2. A Hidrogén és előállítás

Elsőként a hidrogént szeretném bemutatni általánosan. A hidrogén egy atom, amely protonokból és elektronokból áll, és az univerzum egyik legelterjedtebb anyaga. A periódusos rendszer legkönnyebb és legkisebb eleme. Színtelen, szagtalan, nem mérgező gáz, amely nagy energiájú felszabadulási reakció (égés) során víz marad végterméknek. Felhasználásának környezeti haszna, hogy a megmaradt végtermék víz (bár az égés közben nitrogén-oxidok is keletkeznek, és amennyiben vízből, napenergia (illetve ebből nyert áram) segítségével állítják elő), de felhasználása alig terheli a környezetet. Hátránya, hogy bizonyos esetekben a költségek magasak, és a szokásos berendezéseket, valamint az erőátviteli és elosztó rendszereket át kell alakítani. A hidrogént 1766-ban fedezték fel. Neve a görög hydrogenium szóból ered, ami víz alkotót jelent (Kiss, 2002).

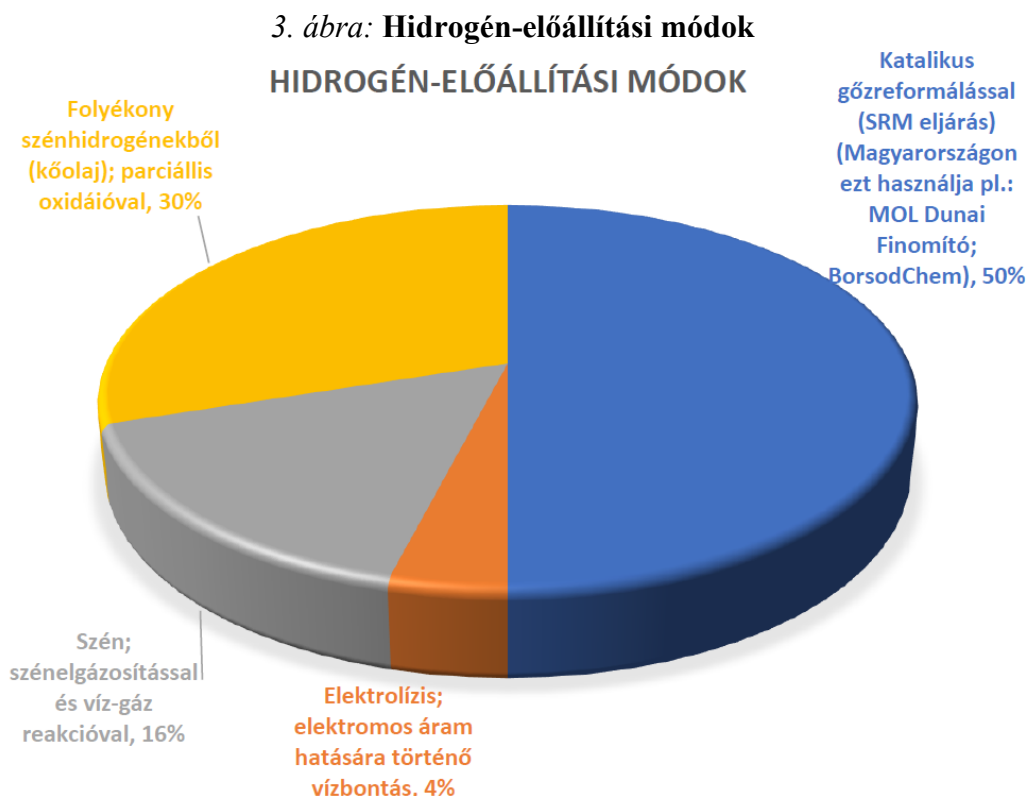
A hidrogén előállítása többféle módon is lehetséges. A hidrogén nagyon sok anyagban előfordul, tehát nagyon sokféle módon elő lehet állítani, de jelenleg az abszolút domináns módszer a fosszilis energiahordozókból kiinduló előállítás, ezen belül is meghatározó a földgázból, pontosabban metánból ( $\text{CH}_4$ ) történő hidrogén gyártása (gőzreformálás). A gőzreformálás során magas hőmérsékleten (700–1100 °C) a vízgőz reagál a metánnal, így szén-monoxid és hidrogén keletkezik, majd aztán egy második lépés során pedig a szén-monoxidból és vízgőzből további hidrogén nyerhető ki, és melléktermékként szén-dioxid keletkezik (Papp, 2021).

Azonban nemcsak metánból és szénhidrogénekből (pl. kerozin, dízelolaj), hanem oxigéntartalmú vegyületekből (metanol, etanol, glicerin, cukrok, keményítők stb.) is előállítható hidrogén. Ilyenkor is katalitikus reformálásról beszélünk (Mayer–Kriston, 2012).

Valamint az egyik legismertebb előállítási módszer az elektrolízis, amely azonban csak kis részt tesz ki az előállítási módok közül. Az elektrolízis, vagyis az

elektromos energia hatására létrejövő vízbontás során a vízmolekulák ( $H_2O$ ) alkotóelemeikre, tehát hidrogénre ( $H_2$ ) és oxigénre ( $O_2$ ) bomlanak szét.

Világszinten a hidrogén-előállítási módok egy kördiagrammon ábrázolva így néz ki (3. ábra):



Forrás: szerzők szerkesztése Mayer–Kriston (2012) alapján.

### 2.1. A Zöld Hidrogén: Hidrogén Előállítása Megújuló Energiaforrásokkal

De mi is az a zöld hidrogén valójában? A zöld hidrogén egy olyan módon előállított  $H_2$  molekula, amit zöld (karbonmentes) áramforrásból víz bontásával és elektrolízis segítségével gyártanak.

A hagyományos hidrogén-előállítási módszerek nem a legjobb alternatívák. Egyrésztől mind meglehetősen környezetterhelők, közvetlenül vagy közvetetten. Közvetlenül akkor, ha az előállítás során már jelentkeznek káros kibocsátások. A villamos hálózatból vételezett energiával történő vízbontás is környezetterhelő, ha az energiamixben domináns a fosszilis eredetű energiahordozók felhasználása, mert a vízbontás egyébként nem jár káros kibocsátással, majd később a hidrogén felhasználása sem, de a villamos energia előállítása, annak módjától függően igen környezetterhelő, ez jelenti a hidrogén közvetett környezetterhelését. Másrésztől véges fosszilis energiahordozó készletekre alapulnak, így áttörő sikereket nem érünk el, ha a nagy mennyiségű hidrogén-előállítást is például a fölgázra alapoznánk, így vésszesen fogynának a tartalékok (Mayer–Kriston, 2012).

Tehát más módot kell találnunk a hidrogén előállítására, egy olyan módszert, ami a környezetet jelentősen kíméli.

Az előállítási módokat többféle szempont alapján lehet csoportosítani, ebben az esetben az energiaforrásból indulunk ki. Elsődlegesen és részletesen a szélenergia segítségével történő hidrogén-előállítás kerül előtérbe, ez a leginkább érett, megújuló energia alapú előállítási mód, amelyhez minden szükséges eszköz kapható a jelenlegi és hagyományos kereskedelmi forgalomban, és már néhány ilyen rendszer üzemel is a világban.

A levegő mozgási energiája szélerőművek segítségével mechanikai (forgási) energiává, majd generátorral villamos energiává alakítható. A megtermelt villamos energiával vagy annak egy részével vízbontás segítségével hidrogén állítható elő, ami már lényegesen kíméli a környezetet.

Itt kerülhet szóba a szigetüzem, amikor a szélerőmű mellé ténylegesen telepítik a vízbontó rendszert, és a szélerőmű (illetve megfelelő hidrogéntároló kapacitás), valamint a vízbontó teljesítménye megegyezik, hogy bármely időpillanatban képes legyen felvenni a szélerőműből származó villamos teljesítményt. Megemlítésre méltó még a vegyes termelés is a szélerőművekben, tehát egy ilyen rendszerben két termék is előáll: a villamos energia és a hidrogén.

Valamint létező megoldás még az intelligens hálózat, ebben az esetben nincs, vagy általában nincs fizikailag a szélerőmű mellé telepítve a vízbontással működő hidrogéntermelő berendezés. A szélerőmű a villamos hálózatra termel, és földrajzilag távolabb, a felhasználás helyén kerül elhelyezésre (Mayer–Kriston, 2012).

Viszont nem csak a szélenergia segítségével állítható elő hidrogén, hanem a napenergiáról is szót kell ejteni ezen a téren.

Technikailag leginkább fejlett módszer a napenergiából fotovoltaiikus (PV) úton történő villamosenergia-előállítás, ezután pedig ennek segítségével a vízbontás.

A másik lehetőség a napenergiával történő hidrogén-előállításra a naperőművek alkalmazása. Ezek a közvetlen napsugárzást egy optikai kollektorrendszerrel egy pontra fókuszálják, és itt magas hőmérsékletet állítanak elő. A hőmérséklet elérheti az 1500–2000 °C feletti hőmérsékletet, ahol ugye víz (gőz) termokémiai bomlása is végbemegy, azaz alkotóelemeire, hidrogénre és oxigénre esik szét.

A következő lehetőség a napenergiával történő hidrogén-előállításra a fotokatalízis, amely jelenleg még nem ismert széleskörűen, viszont manapság erősen feltörekvő eljárás. A módszer lényege, hogy bizonyos katalizátorok fény hatására képesek a vizet bontani és ezáltal hidrogént termelni (Mayer–Kriston, 2012).

### **3. A Klímavédelem és a Hidrogén**

Az éghajlatváltozás az egyik legsúlyosabb globális probléma, amellyel szembe kell néznünk manapság. A különböző légszennyező anyagok emissziója, a mérgező vegyi anyagok környezetbe jutása miatt globális szintű együttműködésre volt szükség. Az elmúlt években több klímavédelmi tárgyalás is volt. Ezek az egyezmények, tárgyalások a globális felmelegedés enyhítését és a klímavédelmet szolgálják. A legmeghatározóbb 2015-ös Párizsi Megállapodás volt, ahol hosszútávú

célként a globális átlaghőmérséklet emelkedésének 2 fok alatt tartását fogalmazták meg.

Az Európai Unió célja, hogy az üvegházhatású gázok kibocsátását 2050-ig 80-95%-os mértékben csökkentse az 1990-es szinthez képest. A cél eléréséhez 2030-ig a kibocsátásokat legalább 40%-kal lenne szükséges csökkenteni.

Vajon a hidrogén hogyan segíthet nekünk a probléma megoldásában? Illetve miért is érdemes hidrogént előállítani?

A hidrogén több ok miatt került a figyelem középpontjában az elmúlt évek során. Alapvetően nem egy új energiaforrásról van szó, hanem egy hatékony energiatároló eszközről. Mivel vízből bőven van a Földön, ezért a hidrogén gyakorlatilag egy korlátlan energiatárolási lehetőséget ígér, akár hosszabb időtávra is. A hidrogén ráadásul színtelen, szagtalan és nem mérgező gáz szobahőmérsékleten, a légkörből hamar eltűnik (Pletser, 2020).

A hidrogént jelenleg is számos iparág használja. Ilyen például a vegyipar, illetve a kőolaj finomítás is. Azonban a hidrogént a közlekedésben is használják, hiszen már számos hidrogénhajtású járművet fejlesztettek ki az évek során.

Viszont a társadalomnak főként azokban a szektorokban van a hidrogénre a legnagyobb szüksége, amelyek nem villamosíthatók egykönnyen. Ipari alkalmazása a legsürgetőbb, mivel alapvető tevékenységeinket minél előbb alacsony karbonintenzitásúvá szükséges átalakítanunk: az acéltól a cement gyártásáig. Ezen tevékenységekhez ugyanis a villamos energia nem használható, de mivel a hidrogénből üvegház hatású gáz kibocsátása nélkül hő is nyerhető, így a fosszilis tüzelőanyagok helyettesítésére megfelelő alternatívát kínál. Ez már egy hatalmas lépés lenne az éghajlatváltozás ellen (Szabo, 2020).

#### **4. A Hidrogén Előállítása Gazdasági Szempontból**

A tiszta, zöld hidrogén kulcsfontosságú a klímasemlegesség felé vezető úton, mivel sokfajta felhasználási területen használható fel. A cél, hogy elegendő mennyiség legyen belőle megfizethető áron. Például a zöld hidrogén alkalmazásával kiválthatók a magas károsanyag kibocsátású nehézgépjárművek, szén-dioxid-mentesíthető általa az ipari szektorok nagy része és az energiaszolgáltatásban is jelentős változásokat képes előidézni.

Jelenleg nagyjából a zöld hidrogén ára 5 USD/kg, ami kb. 1625 Ft/kg átszámolva. Ez az ár viszont még egyelőre elég magas. Az ár csökkenése érdekében az Egyesült Államok energetikai minisztériuma (DOE) már különböző célokat jelölt ki. Úgy vélik, hogy 2030-ra fel kell gyorsítani „a bőségesebb, megfizethetőbb és megbízhatóbb tiszta energia megoldások” érvényre jutását az energetikában, ezért megpróbálnak a zöld hidrogén árat kb. 1 USD/kg-ra (kb. 325 Ft/kg) csökkenteni. Ez már hatalmas lépés lenn, hiszen ez a jelenlegi ár ötöde.

Viszont azonban a zöld hidrogén széleskörű bevezetéséig és a tényleges kibocsátáscsökkentésig még rengeteg megoldásra váró feladat van. De remélhetőleg, minél hamarabb bevetésre kerül, és ezzel is kicsit kímélni tudjuk a környezetet (Szabó, 2021).

A hidrogén-előállítás költségeinek áttekintésére szolgáló 1. táblázat a következő adatokat tartalmazza:

1. táblázat: A hidrogén előállítás költségei

H <sub>2</sub> előállítási módok	Költség	Időpont	Forrás
Szén elgázosítás (centralizált, nagy rendszerben)	kb. 1 USD/kg kb. 325 Ft/kg	2006.	Oláh Gy.: Beyond Oil and Gas-The Methanol Economy
Biomassza (kis/közepes rendszerben; elgázosítással/pirolízissel majd gőzreformálással)	3-7 USD/kg kb. 975-2275 Ft/kg	2006.	
Elektrolízis, szélenergiaforrásból nyert villamos energiával és tárolással	6-7 USD/kg kb. 1950-2275 Ft/kg	2006.	
	kb. 3 USD/kg kb. 975 Ft/kg	középtávon	
Elektrolízis, fotovoltaiikus energiával és tárolással	28 USD/kg kb. 9100 Ft/kg	2006.	
	5-6 USD/kg kb. 1625-1950 Ft/kg	középtávon	
Földgáz gőzreformálása (kis léptékben)	1,4-2,1 USD/kg kb. 455-685 Ft/kg	2010.	roads2hy.com
	1,4 USD/kg kb. 455 Ft/kg	2030.	
Elektrolízis megújuló energiaforrások alkalmazásával	4,7 USD/kg kb. 1525 Ft/kg	2010.	
	2,5 USD/kg kb. 815 Ft/kg	2030.	
Elektrolízis, szélenergiaforrásból nyert villamos energiával	2,9 USD/kg kb. 945 Ft/kg	2010.	US DOE (Hydrogen Posture Plan)
Nukleáris energiával végzett magas hőmérsékletű elektrolízis	2-3 EUR/kg kb. 730-1095 Ft/kg	2008.	Rivera R. Mansilla C.

Forrás: szerzők szerkesztése Mayer–Kriston (2012) alapján.

## 5. Következtetés

A hidrogén a káros anyagok kibocsátásának csökkentésére jó megoldása lehet, egyre nagyobb iránta az érdeklődés és a kereslet. A hidrogént egyébként univerzális jellegű

energiahordozónak is nevezhetjük, hiszen számos célra és széles teljesítménytartományban alkalmazható. A közeljövőben a hidrogén alkalmazható lesz például mobiltelefonok, laptopok energiaforrásaként. De ide sorolható még a hidrogén hajtású autók is. Ilyen sokrétű felhasználási lehetőség a hagyományos energiahordozókra általában nem áll fenn, ezért is lenne nagyon kedvező, ha a hidrogént káros anyag kibocsátása nélkül állítanák elő és használnák fel (Mayer–Kriston, 2012).

Tehát a hidrogént nagyon sok területen lehet használni. Az elsődleges cél a hidrogén környezetkímélő előállításának majd alkalmazása. A következő évtizedekben biztosan sok fejlesztés vár még erre az ágazatra. De megéri várni és megéri mindenképpen foglalkozni vele és fejleszteni, mert ezzel is egy élhető bolygót teremthetünk az utódaink számára (Támba, 2021).

## Irodalomjegyzék

- Éghajlatváltozás vs klímaválság | Föld Napja Alapítvány. (2012). <<http://fna.hu/vilagfigyelo/eghajlatvaltozas>> (2023.01.16.)
- Kiss F. (2002): *A Hidrogén*. Nyíregyházi Egyetem, Nyíregyháza.
- Mayer Z., Kriston Á. (2012): Hidrogén és metanol gazdaság. Digitális tankönyvtár.
- Papp L. (2021): Mit érdemes tudni a hidrogénről? Villanyautósok. <<https://villanyautosok.hu/2021/09/18/mit-erdemes-tudni-a-hidrogenrol/>> (2023.01.16.)
- Pletser T. (2020): A zöld hidrogén a mindent elsöprő megoldás? G7.hu. <<https://g7.hu/tech/20201030/a-zold-hidrogen-a-mindent-elsopro-megoldas/>> (2023.01.16.)
- Sorensen, B. (2017): *Renewable energy: physics, engineering, environmental impacts, economics and planning*. Academic Press, Cambridge, Massachusetts.
- Szabó M. Is. (2021): Azt akarják, hogy a zöldhidrogén kilójának ára egy dollár legyen. Napi.hu. <<https://www.napi.hu/nemzetkozi-gazdasag/usa-zold-hidrogen-termeles-ar-innovacio-fejlesztés-megújulóenergia-klímavédelem-karbonszennyezés.730991.html>> (2023.01.16.)
- Szabó, J. (2020): A hidrogén (fel)hajtás, avagy mennyire zöld ez az energia, és mit kezd vele Európa? Másfél fok. <<https://masfelfok.hu/2020/07/23/hidrogen-zold-energia-europai-unio-klimavaltozas/>> (2023.01.16.)
- Támba V. R. (2021): Megújuló energia c. tervezési feladat (zöld hidrogén). Miskolci Egyetem, Miskolc.