

**A hidrogén a környezetbarát  
energiahordozó  
Hidrogén az energetikában**





**Magyar Mérnöki Kamara  
Kiadványsorozata 55.**

**A hidrogén a környezetbarát energiahordozó  
Hidrogén az energetikában**

**MMK FAP azonosító:  
2020/101-GOT**

**Budapest, 2020. augusztus**

A sorozat szerkesztője:  
**NAGY GYULA**  
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Gáz- és Olajipari Tagozatának gondozásában, a 2020. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

*Szerző:*  
**Dr. Szilágyi Zsombor**

*Lektorálta:*  
**Dr. Szunyog István**

**Kiadó:**  
Magyar Mérnöki Kamara  
1117 Budapest, Szerémi út 4.  
[info@mmk.hu](mailto:info@mmk.hu), [www.mmk.hu](http://www.mmk.hu)

## TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló.....	7
2. Bevezető .....	14
3. A hidrogén és a klímavédelem.....	17
4. A hidrogén története .....	26
5. A hidrogén tulajdonságai .....	34
6. A hidrogén gyártása .....	39
7. A hidrogén tárolása és szállítása.....	47
8. Hidrogén az iparban .....	51
8.1. Vegyipari alkalmazások .....	52
8.2. Fémek megmunkálása .....	52
8.3. Rakéta hajtóanyag.....	54
8.4. Félvezetőipar .....	54
8.5. Üvegipar.....	54
8.6. Gyógyszer hatóanyag, orvosi kutatások .....	54
9. Hidrogén az energetikában .....	56
9.1. Villamos áram termelés hidrogénnel .....	57
9.2. Hidrogén keverése a földgázhoz .....	65
9.3. Alkalmazott kutatások.....	67
9.4. Ipari léptékű alkalmazási kísérletek.....	70
9.5. A hazai energiatárolás lehetőségei .....	74
10. Hidrogén a közlekedésben.....	76
10.1. A hidrogénmotor alkalmazása .....	80
10.2. A hidrogén-cella alkalmazása autóban .....	82
10.3. A hidrogén-cella alkalmazása a vasúti, a vízi és a légi közlekedésben .....	90
11. A hidrogén felhasználás jövője .....	93
12. Rövidítések jegyzéke .....	96
13. Mértékegységek, átváltások .....	97
14. Irodalomjegyzék .....	98



## 1. Vezetői összefoglaló

---

Napjaink legfontosabb környezetvédelmi feladata a légkörbe kerülő üvegház hatású gázok mennyiségének csökkentése. A feladat általában az energia felhasználás csökkentésével, a fosszilis tüzelőanyagok hatékonyabb használatával és környezetbarát tüzelőanyagok elterjesztésével oldható meg. Az energiaipar fejlesztése a szénhidrogének helyettesítésére képes anyagok kutatása során több mint száz év után ismét elővette a hidrogént.

Hidrogén-termelés a világon: évente kb. 80 millió tonna, a primer energiahordozó felhasználás 1,5 %-a. A katonai és űrtechnikai célokra használt hidrogén mennyiségét 20 millió tonnára becsülik. A fennmaradó rész 38 %-a az ammónia termelést szolgálta, 37 %-ot a kőolaj feldolgozás igényelt, 12 %-ot szintézisgáz termelésre használtak, 10 % metanol gyártáshoz kellett, és 3 % fogyott egyéb célokra. 2040-re a primer energiahordozó felhasználás 18 %-a lehet a British Petrol 2019. áprilisi előjelzése szerint.

A hidrogén a legelterjedtebb elem a világon. A legegyszerűbb kémiai szerkezet, ugyanakkor gyártása, kezelése, használata egy sor fejlesztési feladatot jelent. Energiahordozó és környezetbarát, ezzel a jövő időszak talán legfontosabb anyaga lehet. Kiváló anyag a fosszilis energiahordozók fokozatos kiváltására, az energia felhasználás szezonálisának kompenzálására. A hidrogénnel kapcsolatos kutatások és fejlesztések sokrétűek és eredményesek, a hidrogén esélyes arra, hogy árával is hamarosan versenyképes legyen az egész energia-iparban. A hidrogén alkalmas a fosszilis energiahordozók kiváltására az ipar számos területén.

A hosszabb távra tervező és előre látó országok sok pénzt áldoznak a hidrogén-gyártás, felhasználás egyes területeinek fejlesztésére, egyértelműen azt a célt szolgálva, hogy a hidrogén széles körben alkalmazható energiahordozó lehessen.

A hidrogén felhasználásának kutatása a közlekedés és a villamos áram termelés területén kiváló eredményeket hozott. A sorozatban gyártott személyautók tiszta hidrogén hajtása már igazolta, hogy a hidrogén alkalmas a benzin- és dízel üzemanyag lecserélésére. A fejlesztések eredményeként a hidrogén hamarosan árban is versenyképes lesz a szénhidrogénekkel. A vasúti közlekedésben- és a vízi járművek esetében a hidrogén használata remek eredményeket hozott már, és megjelent a légi jármű kísérletekben is.

A tömeges nap- és szélenergia hasznosító beruházások egyik vonzata a villamos áram termelés és a felhasználás szezonálisának eltérése, amit egyre sürgetőbben kezelni

kell. Az egyensúlytartásra használt földgáz üzemű villamos erőművek helyett a hidrogén decentralizált alkalmazása kiváló lehetőséget kínál.

Eredményes kísérletek sora igazolja, hogy a hidrogén alkalmas a földgáz helyettesítésére: a földgázhoz meghatározott arányban keverve a legtöbb felhasználó berendezésben alkalmazható. A hidrogén föld alatti földgáz tárolókban is elhelyezhető, ezzel nagy léptékben alkalmas lehet a villamos energiatermelés és -felhasználás szezonálisának kiegyenlítésére.

A hidrogén jelenlegi ipari felhasználása és a folyó kutatások alapján vázolható a hidrogén új szerepe a jövő évtizedekben:

- közúti közlekedés hajtóanyaga,
- hajó, vasúti jármű hajtása,
- telephelyen belüli anyagmozgató eszközök hajtása,
- kis léptékű villamos áram termelés intézményeknél, vállalkozásoknál kb. 1-2 kW teljesítménnyel, és a hő kiegészítő hasznosítása,
- hordozható energiaforrások - először a katonai alkalmazás indult el,
- szünetmentes áramforrások kis teljesítménnyel,
- részvétel a villamos rendszer szabályozásában.

Bemutatásra kerülnek azok a magyar és európai pénzügyi támogatási lehetőségeket is, amelyeket a hidrogén alkalmazás fejlesztésére vehetnek igénybe az innovatív szervezetek.

A Magyarország Kormánya jelentős összegű pályázattal támogatja a légkör védelmét is szolgáló energetikai fejlesztési törekvéseket. A kormány 2020. márciusban indított pályázatait lehetőséget biztosítanak a magyar mérnököknek, vállalkozásoknak a megújuló energiahordozók használata új módszereinek kutatására, fejlesztésére, alkalmazására vonatkozó kezdeményezéseik megvalósítására. A pályázat későbbi kiterjesztésére számítani lehet.

### Innovatív lehetőségek a hazai technológiai viszonyok alapján

#### *Hidrogén előállítás kihasználatlan villamos áram termelésből*

Villamos mérleg Magyarországon 2019-ben: (GWh)

- |                       |        |
|-----------------------|--------|
| • hazai termelés      | 33 935 |
| • import              | 19 854 |
| • export              | 7 269  |
| • bruttó felhasználás | 53 789 |



Erőművek Magyarországon:

- 13 darab 50 MW feletti beépített termelő teljesítményű villamos erőmű van;
- az erőművek beépített együttes teljesítménye 6932 MW;
- rendelkezésre álló állandó teljesítő képesség 5581 MW;
- ténylegesen igénybe vehető teljesítmény 4860 MW;
- 324 darab 50 MW alatti névleges teljesítményű kis erőmű van:
  - névleges teljesítmény 1877 MW,
  - 2 MW feletti teljesítményű kis erőművek száma 147 db.

A villamos áram termelést a MAVIR irányítja. A villamos energia forrásoknak és a felhasználásnak minden időben egyensúlyban kell lenni. Mivel a felhasználást lényegében nem lehet befolyásolni, az áramtermelést és külkereskedelmet kell a felhasználáshoz igazítani. A termelés vezénylése negyedóránkénti ciklusokban folyik. Az országban működő erőművek naponta kapnak közelítő előjelzést a következő 24 óra várható erőműi terheléséről. Az elvárt kiadható villamos teljesítmény biztosítása miatt az erőművek a termelő berendezéseket magasabb teljesítményen járatják. A kiadható villamos áram mellett mindig fejlesztenek többlet áramot is. Ennek sokoldalú hasznosítása a gyakori teljesítmény változtatás miatt szinte lehetetlen. Elvi lehetőség a forróvíz termelése, majd ennek hasznosítása távfűtésben, de ez a termelő villamos erőművek legtöbbszörének közelében nem oldható meg.

Adódik a lehetőség a felesleges villamos árammal az erőműben hidrogént termelni. A hidrogén termelés teljesítményének gyakori változása jól kezelhető. A hidrogén a jelenlegi ipari hidrogén felhasználók részére eladható, ára pedig versenyképes az ipari gázt gyártó cégek áraival.

Budapesten az egyik, ipari parkban működő villamos erőmű tervezi a hidrogén termelést, és a saját gépjármű állományának átállítását hidrogén üzemre. A járművek tankolását az ipari parkon belül közterületen tervezik, ezzel ösztönzést adnak a további vállalkozásoknak is a járműveik (például a villás targoncák) hidrogén hajtásra átállítására.

#### *A hidrogén a közlekedésben*

A gépjármű fejlesztések legújabb területe a hidrogén hajtás azzal együtt, hogy már az első autók tervezésekor is foglalkoztak a tiszta gáz hajtással, köztük a hidrogén üzemanyaggal is. Sok iparági szakértő egyetért azzal, hogy a jövő zöld energiahordozója a hidrogén lehet.

A kutatóintézetek a részletes prognózisok fontos fejezeteként kezelik a közlekedés energia igényét. 2014-ben az EU-ban 14 millió, Kínában 22 millió, Japánban 5 millió, az USA-ban 15 millió új gépkocsit helyeztek üzembe. A jármű állomány gyarapodása magával vonja a hajtóanyag igény emelkedését. A járművek korszerűsítése, energia felhasználásuk csökkentése, környezet-barátabbá tétele minden autógyár elsőrendű feladata. Minden jelentősebb autógyár megkezdte a hidrogén hajtású személygépkocsik gyártását.

A hidrogén használata a gépjármű hajtásban a következő tulajdonságok miatt lehet előnyös:

- nagy a diffúzió sebessége,
- nagyon jó a hővezető képessége,
- vízben nem oldódik,
- nagy az elektromos vezetőképesége,
- a levegő-hidrogén keverék széles tartományban gyúlékony,
- meggyújtásához kis energia szükséges,
- jó a kompresszió tűrése,
- nagy a lángsebessége,
- a hidrogén-levegő szegény keveréke is elégethető,
- könnyű a hidrogén motort indítani,
- szegény keverékkel a motorüzem gazdaságosabb, kisebb az égés hőmérséklete, kevesebb a nitrogén-oxid kibocsátás.

A közúti hidrogén töltő állomások száma 2018 nyarán 298 volt a világban, ebből 111 Európában működik. A töltési helyek számának gyors emelkedését megalapozza, hogy 2050-re a világon 113 millió üzemanyagcellás járművel számolnak. Ha ez a jármű állomány üzembe áll, akkor a légköri szén-dioxid kibocsátás akár 200 millió tonnával is csökkenhet.

#### *Néhány fejlesztési eredmény*

- Magyar világújdonság a 2 in 1 hidrogéncella. Négy cég, az Accuseeled Kft., az MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, a BME Gépjárművek Tanszék és a VHJ Kft. közös kutatása arra irányul, hogy a hidrogén-cella ne csak előállítsa, hanem tárolja is a hidrogént. Az új hidrogén-cella gyakorlati alkalmazására egy gépkocsit építettek. A fejlesztés eredményeként a kísérleti autóban 70 hidrogén-cella működik. A cellák várható élettartama 200-1000 ciklus, vagyis kb. 2-7 év. Egy cellában 80 liter hidrogén van. Az energia tartalom 150-170 Wh/kg. A cella töltési ideje 5...12 óra.

- A San Bernardino Közlekedési Hatóság (USA) megrendelésére a svájci Stadler cég hidrogén hajtású motorvonatokat készít. A kétkocsis szerelvényt elővárosi forgalomban használják. 108 férőhellyel rendelkezik és 130 km/óra végsebességre képes.
- A Bács-Kiskun megyei Jakabszálláson 2020. január 22-én bemutatták a világ első hidrogén üzemanyagcella meghajtású, négy személy szállítására alkalmas, magyar-amerikai együttműködésben fejlesztett légi járművét.
- Németországban 2018-ban forgalomba állított az Alstom két vasúti személyszállító járművet, hidrogén hajtással. 2020-ban további három hidrogén hajtású vonatot állítanak forgalomba, 2022-re pedig 64 szerelvény közlekedhet.
- A Škoda Electric és a német Proton Power System cég közös fejlesztésbe fogott. Škoda buszokban a Proton cég moduláris jellegű HyRange® tüzelőanyag celláját alkalmazzák, amely hatótávolság növelőként működik. Ebben a koncepcióban viszonylag kis tüzelőanyag cella teljesítményt kell beépíteni a buszba, 37 kW-ot.
- EDF (Electricité de France) cég bejelentette, hogy „Hynamics” néven új vállalatot hozott létre, hogy alacsony karbon-kibocsátással állítson elő hidrogént az ipar és a közlekedés számára. Becslésük szerint 2050-re a globális végső energia felhasználás 18 %-át hidrogénnel lehetne fedezni. A Hynamics törekszik, hogy a hidrogént elektrolízissel állítsa elő, és ehhez a villamos energiát mindenek előtt megújuló forrásokból nyerje.
- A Solaris autóbusz gyártó 2019 júniusában bemutatta az „Urbio 12 hydrogen” elnevezésű tüzelőanyag-cellás városi autóbuszát, mely 37 férőhelyes, két 60 kW teljesítményű tüzelőanyag-cella és két 125 kW-os, tengelybe integrált villanymotor hajtja, 5 darab 350 bar nyomású, egyenként 312 literes kompozit palack van beépítve. Hatótávolsága 350 km.
- A BMW autógyár 2019. szeptemberben mutatta be a hidrogén-cella hajtású személyautóját, amit „i-Hydrogen NEXT” névvel ruháztak fel. Széria gyártását 2022-re tervezik.
- A Toyota gyár 2002-ben jelent meg a hidrogén-cellás személygépkocsi prototípussal. 2014-ben jelent meg az autó a kereskedelemben. Az autók gyártása felfutott, 2020-ban már 30 ezer hidrogén hajtású Mirai kerülhet forgalomba. Az autó teljesítménysűrűsége 3,1 kW/l, vagyis kétszer magasabb, mint a hagyományos, azonos típusú, szénhidrogén hajtású személygépkocsiké. A gépkocsiban a hidrogén-cella által termelt elektromos áramot feszültség átalakító konvertálja 650 V-ra. Minden sebesség tartományban a gyorsító nyomaték érezhetően nagyobb, mint a szénhidrogén hajtásoknál. Az autó -30 °C hőmérsékletig használható, a

„kipufogó” rendszeren át távozó vízgőz miatt. Az autó 100 km-ként 0,76 kg hidrogént használ, 7 liter vizet termel és 22 m<sup>3</sup> levegőt vesz igénybe. A jármű hatótávolsága 500-800 km. A tankolt 5 kg hidrogén 700 bar nyomáson kb. 500 km útra elegendő. A jármű három perc alatt tankolható, a betöltött hidrogén szénzűrőn keresztül kerül a hidrogén tankba. A jármű bármely sebességnél csak vízgőzt bocsát ki a levegőbe. Az autó ára 2019-ben 55 ezer euró volt. Az autó ma még drágább, mint az azonos komfortot nyújtó benzin- vagy dízel hajtású gépkocsik. A gyártó 2025-re várja azt, hogy az autó a benzin vagy dízel hajtású, azonos kategóriájú személyautók árszintjén legyen.

### *Hidrogén keverése a földgázhoz*

A benzinhez és a gázolajhoz kevert bioüzemanyagok sikere is igazolta, hogy a környezetbarát tüzelőanyagok meghatározott mértékben keverése a fosszilis energiahordozókhoz különösebb technikai problémák nélkül megoldható. Az Európai Unióban több országban folynak kísérletek a vezetékes földgázszolgáltatásban a hidrogén bekeverésére. A hidrogén különböző mértékű bekeverésének hatását a gázellátó rendszerre jelenleg is több országban vizsgálják. Az eddigi kutatások azt mutatják, mintegy 10 tf% mértékig a hidrogén nagy valószínűséggel bekeverhető lesz a földgázba a meglévő gázellátó rendszer átalakítása nélkül.

### **A hidrogén felhasználás jövője**

A hidrogén termelés alapanyaga a víz korlátlanul áll rendelkezésre, minden európai országban. Az adott ország hagyományos energiahordozó készletei és kitermelése meghatározza az új, korszerű, környezetbarát energiahordozók felhasználásának ütemét. A kimerülőben lévő fosszilis energiahordozó készletek miatt gyorsulhat a hidrogén felé fordulás, és ezt elősegítheti a hidrogén használathoz tartozó technikák gyors fejlődése is.

A koronavírus járvány kezelésének költségei miatt halasztást szenvednek az alapvető energetikai fejlesztések, kutatások. 2021. évben remélhetően elkészül a járvány megállításához szükséges gyógyszer, ismét a környezetvédelem lehet a kutatások és a fejlesztések egyik legfontosabb területe.

A hidrogén a szénhidrogének vetélytársa lehet, ezért a hidrogén térnyerését a kőolaj aktuális ára határozza meg. Szakértők becslése szerint a hidrogén előretörésének határa a 60 USD/barrel kőolaj ár lehet. Ezt a határt jelenleg a koronavírus járvány miatt lecsökkent olajtermék fogyasztás és az amerikai „palaolaj” termelési sikerek, az amerikai kőolaj import megszűnése bizonytalan időre, pár évre a jövőbe tolta.

## A hidrogén versenye az egyéb energiahordozókkal

A hidrogén bármelyik egyéb energiahordozót helyettesíteni, kiváltani tudja. A hidrogén termelési eljárások energia igénye és az előállítás átlagos költségei 2017-ben az alábbi táblázatban láthatók.

Eljárás	Energia igény (kWh/Nm <sup>3</sup> )	Költség (Ft/Nm <sup>3</sup> )
Földgáz bontás	0,05	45
Metanol bontás	0,05	78
Elektrolízis	4,50	110

A földgázbontás a legelterjedtebb hidrogén-gyártási eljárás. Ezt az eljárást a környezetvédelmi követelmények szigorítása sorolhatja hátrább, például a földgáz bontással üzemelő termelők bevonásával a szén-dioxid kvóta rendszerbe.

A Cambridge Econometrics becslést adott közre a hidrogén előállítás jövőbeli költségeiről (euró/kg) az alábbi táblázat szerint.

	2020	2030	2040	2050
Elektrolízis	6,9	6,0	5,3	5,1
Metán gőzreformálás	6,0	4,2	4,0	3,7
Szén vízgáz reakció	5,5	3,2	2,9	2,7

2025-re a közutak mellett tankolható hidrogén ára azonos lehet a szénhidrogénekkel, ezzel felgyorsulhat a hidrogén előretörése a közlekedés hajtóanyagai között.

## 2. Bevezető

---

A hidrogén a fosszilis energiahordozók szerepét nagyrészt át tudja venni. A természetben található anyagokból, természetes eljárásokkal is előállítható, használata pedig a környezetre semmilyen káros hatást nem gyakorol.

A hagyományos energiahordozókkal való szakítás elsősorban környezetvédelmi megfontolások alapján indokolt. Az energiaipar és a közlekedés felelős a mai globális szén-dioxid kibocsátás 80-90 %-áért, az üvegház hatás kézzelfogható eredményei a globális felmelegedés, az aszályok, árvizek, hőszélsőségek, fagykárak, hurrikánok, hó- és sárlavinák, savas esők egyre gyakoribbá válnak. Az utóbbi százötven év során a Föld átlag hőmérséklete 1 °C-al emelkedett, ez már közvetlenül befolyásolja az ingatag egyensúlyokon nyugvó életterületet. A jelenség kutatói körében nincs kétség, hogy átfogó változás nélkül ez a tendencia fel fog gyorsulni, és hamarosan visszafordíthatatlanná válik. A világméretű katasztrófák óriási személyi és anyagi károkat okoznak. [40]

A hidrogén felhasználás szélesebb körű és gyorsabb elterjedését fékezi a konkurens fosszilis energiahordozó termelés helyzete, az energiahordozó készletek alakulása. A Föld teljes szén-, szénhidrogén készleteit talán még fel sem mértük, a kutatás újabb módszerei hatalmas új készleteket tárnak fel. Gondoljunk csak a nem hagyományos szénhidrogén („palaolaj”, „palagáz”) készletek és kitermelés eredményeire, vagy a metánhidrát megjelenésére a földgázforrások között. A kőolaj kereskedelmi ára ugyanakkor befolyásolja egy sor ipari termék és más nyersanyagok árát is, a kőolaj- és földgáz-termelésben érdekelt vállalkozások képesek a hidrogénnel kapcsolatos kutatások, alkalmazások fékezésére.

A problémák nagy részére megoldást kínál a hidrogén, mint környezetbarát energiahordozó, ezt a kormányok, az ipari szakemberek és a kutatók egyhangúlag vallják. A tiszta energiahordozót megújuló forrásokból nagy mennyiségben lehet előállítani természetes biológiai folyamatok felhasználásával. A hidrogén közvetlenül a felhasználás helyén, a kis közösségek szükségleteit kielégítve is tudunk termelni, tehát igazán meggyőzően kedvező hatása lehet a társadalmi, energetikai és gazdasági előnyök realizálására. [40]

Elkerülhetetlen, hogy a hidrogén energiahordozót összehasonlítsuk a ma széles körben használt energiahordozókkal. Az összehasonlító eljárások készítőinek személyes álláspontja természetesen alaposan befolyásolja a végkövetkeztetést. Az összehasonlításnál figyelembe kell venni a kitermelés és felhasználás során keletkező környezeti károsodást, és számításba kell venni az energia használható formába hozásához befektetendő energiát. Ma már jogos igény, hogy a termék teljes

életciklusára vetítve kell számítani ezeket az adatokat, és valahol az összetett számolgatás végén jutunk el az igazság közelébe. [40]

A környezetvédelmi célok elérése érdekében a nukleáris energia szerepe ma erősen tisztázatlan. A nukleáris erőművek semmilyen káros gáz kibocsátással nem szennyezik a levegőt. Ugyanakkor a fűtőelemek gyártása erősen energia igényes, és ez az energia általában fosszilis tüzelőanyagból származik. A nukleáris erőmű hűtővizet melegíti a hűtő vagy folyóvíz hőmérsékletét, ezzel a környezetet is. A nukleáris erőműben különböző fokozatú szennyezett anyagok is keletkeznek, amire eddig csak az eltemetést találta fel az ember. A nukleárisenergia hasznosítást mégis úgy lehet értékelni, hogy több szempontból előnyösebb, mint a fosszilis tüzelőanyagok.

Az ITM 2020. januárban közreadta a „Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig” című tanulmányt. Ebből idézünk:

*„Az innovatív szezonális villamos energia- és hőtárolási megoldások ösztönzésének célja nagy energiamennyiséget hosszabb időn keresztül tárolni képes technológiák fejlesztésének elősegítése, különös tekintettel a földgázhálózat „szazonális energiatárolóként” való használatának lehetővé tételére a power-to-gas technológiával előállított metán, a biogáz és a hidrogén betáplálásával. ... a hidrogén földgáz hálózatba táplálásával kapcsolatos szabályozás felülvizsgálata mellett az egyes technológiák alkalmazása pilot projektek keretében tesztelhető.”*

*„Az elektrolizálás technológiájával megoldható, hogy az adott pillanatban felesleges villamos energia termelést hidrogén formájában tároljuk, és később számos lehetőség közül választva felhasználjuk.”*

A hidrogén termelés és felhasználás fejlesztése pénzigényes. Jellemzően ipari cégek, a hidrogén használatban érintett gyártók tudnak a fejlesztésre több pénz fordítani, az állami, költségvetési támogatások kisebb mértékűek. Az állami pénzforrásokat sok cél között kell elosztani, köztük a környezetvédelemre is. A nemzeti energia stratégiák is óvatosan fogalmaznak meg hidrogén használattal kapcsolatos célokat.

A fejlesztési forrásokat nagyban befolyásolják olyan világméretű események, mint például a koronavírus járvány. Az eddig kezelhetetlennek ismert járvány elleni harc minden országban erőfeszítéseket igényelt, szinte minden ország költségvetését átrendezte azzal, hogy a járvány elleni védelem eszközöket, személyzetet vont el más gazdasági vagy humán területektől. A járvány elleni harc költségei majd minden ország nemzeti jövedelmét negatívba fordíthatják 2020-ban. A gazdasági kihatások még több évig jelentkezhetnek. Ezek az események a hidrogén szélesebb körű alkalmazását késleltetik, akár több évre is.

A kőolaj ára az egész világgazdaság legerősebb mozgatóereje. Ára hatással van a földgáz, a szén árára, a fémek kereskedelmére, de még a mezőgazdasági termékek árára is. A koronavírus járvány hatásának tulajdonítják azt, hogy a Brent olajtípus ára 30 USD/hordó szint alá süllyedt 2020. márciusban. Ez az olajár hasonló hatással lehet az egész világgazdaságra, mint a 2004-es pénzügyi világválság, vagy a 2007-ben kezdődött gazdasági válság. Csökken a GDP, cégek mehetnek tönkre, nő a munkanélküliség, a kormányok pénzügyi lehetőségei kevesek a gazdasági romlás megállítására. A kőolaj áresése államokat vihet csődhelyzetbe. Ha a koronavírus ellenszerét megtalálják és hatékonyan alkalmazzák, akkor is félév, vagy akár több év is kellhet a világ-gazdaság 2019-es szintjének visszaállítására.



### 3. A hidrogén és a klímavédelem

---

A világ országaiban különböző mértékű a törekvés a légkör védelmére, a megújuló energiaforrások alkalmazásának terjesztésére. A megújuló energiaforrások használatának terjesztésében az Európai Unió jár az élen: nemcsak a fejlesztési programjaiban fogalmazza ezt meg, hanem az energiahordozó cserékhez szükséges pénzforrások jelentős részét is biztosítja. Nyilván a megújuló energiahordozók használata gyorsabb terjesztéséhez nemcsak határozatok és fejlesztési programok szükségesek, hanem széleskörű tudatformálás, energiatakarékosság és sok pénz az energiahordozó váltások finanszírozására. A finanszírozás állami támogatás és kedvező banki hitel is lehet.

A megújuló energiahordozók terjesztésének programjában található néhány ellentmondás is:

- az energia szolgáltatónak nem áll érdekében a fosszilis energia-hordozó használat csökkentése;
- az energia szolgáltatás monopóliumokba szervezése egyértelműen gátolja az energiahordozók piaci árának kialakulását;
- a hatékonyabb energia felhasználás növeli az energia fogyasztást (Jevons paradoxon);
- a „zöldek” is ellenzik a lakókörnyezetükben a szélgenerátort vagy az új villamos légvezeték (Nimby paradoxon);
- az USA adókedvezményrel, az EU beruházás támogatással ösztönöz a megújuló terjesztésére, az adókedvezmény nem ad lehetőséget indokolatlan pénzköltésre.

Napjaink klíma változását szorosan kapcsoljuk a légkör szén-dioxid tartalmának növekedésével. A kapcsolat egyértelmű, bár megjegyezhetjük, hogy a légköri változások más üvegház hatású gázok kibocsátásával is összefüggnek. A kutatók további okokat is feltárnak: a Föld mozgásának változása a világűrben, tektonikai jelenségek erősödése, a Földre jutó napsugárzás intenzitásának változása. A sugárzási kényszerként jegyzett mérőszám a Föld légkörében elnyelt és kisugárzott energia különbsége. [33] Ennek kritikus értékét  $1,0 \text{ W/m}^2$ -ben jelölik meg, de ma ez a kisugárzás különbség  $1,5 \text{ W/m}^2$ . A jól mérhető és figyelhető mérőszám a levegő szén-dioxid tartalma: az 1900-as években 280 ppm volt, napjainkban meghaladta a 400 ppm-et. Kritikusnak tekintjük a 350 ppm szintet.

Elkerülhetetlen, hogy a hidrogént, mint energiahordozót összehasonlítsuk az egyéb energiahordozókkal. Ehhez figyelembe kell venni a kitermelés és a felhasználás során keletkező környezeti károsodásokat, az energiahordozó felhasználásra előkészítésének energia igényét.

Az egyes energiahordozók energia tartalma és szén-dioxid kibocsátása az 1. táblázatban látható.

**1. táblázat**  
***Az energiahordozók energiatartalma és fajlagos szén-dioxid kibocsátása [40]***

Energiahordozó	Energia-tartalom MJ/kg	Energia-tartalom MJ/liter	Szén-dioxid kibocsátás kg CO <sub>2</sub> /kg
Hidrogén (gáz)	120	2,0	0,0
Hidrogén (cseppfolyós)	120	8,5	0,0
Kőszén	15-19	-	0,5
Barnaszén	27-30	-	0,7
Földgáz	33-50	9,0	0,5
Benzin	40-43	31,5	0,9
Kőolaj	42-45	38,0	0,8
Dízelolaj	43	35,0	0,9
Biodízel	37	33,0	0,5
Etanol	21	23,0	0,5
Faszén	30	-	0,5
Mezőgazdasági hulladék	10-17	-	0,5
Fa	15	-	0,5

A nukleáris energiát nem soroljuk a hagyományos energiahordozók közé, bár közvetlenül nem járul hozzá az üvegház hatású gázok kibocsátásához, mégsem veszélytelenek a nukleáris erőművek. A fűtőelemek előállítása energia-igényes, az erőmű bezárása után még kb. kilencven évet kell várni a háttér sugárzás lecsökkenésére, az erőmű bontásához. [40]

Az éghajlatváltozás befolyásolni fogja a környezeti és társadalmi rendszereket és azok kölcsönhatását. Vizsgálat tárgya ma szinte minden meteorológiai paraméter és Föld felszíni természetes jelenségek: [33]

- átlagos hőmérséklet alakulása,
- a nyári napok és a hőségnapok száma,
- átlagos napi hőmérséklet ingadozás,
- éves csapadék mennyiség és annak időbeli eloszlása,
- a száraz időszakok hosszának alakulása,

- a felszíni vizek átlag hőmérsékletének alakulása,
- a viharos időjárási jelenségek gyakorisága és intenzitása,
- villámárvíz keletkezésének gyakorisága,
- felszíni vízkészletek csökkenése,
- erdőtüzek gyakoriságának emelkedése.

Ezeknél a mérhető és megfigyelhető jelenségeknél napjainkban rendre súlyos változások jelentkezők, amik hatással vannak az emberek, az élővilág életére és megélhetésére.

A világ legtöbb országában megértették, hogy a megújuló energiahordozók fokozottabb használata ellensúlyozhatja a fosszilis tüzelőanyagok káros szerepét a légkör alakulásában. Európában kiemelten kezelik a megújulóknak a használatának növelését. Pár év után máris jelentkezett ennek a programnak az árnyoldala is: a szél- és napenergia nem egyenletesen áll rendelkezésre, és a megújuló energia-termelés periódusai nem azonosak az energia igények szezonálisával. Mármost dolgozni kell az áram felesleg vagy az áramhiány kezelésén, amihez új eljárások és új energiahordozók is kell.

A környezetvédelem és a megújuló energiahordozók fokozottabb használatának eredményei lassan gyarapodnak, mert:

- a nemzeti érdekek, a hazai energia-források minden országban elsőbbséget kapnak a nemzetközi szervezetek ajánlásai és elfogadott programjaival szemben;
- az acél-, cement- és műtrágya gyártásban még nem lehetett kiváltani a fosszilis energiahordozókat;
- a villamos energia tárolás eddigi megoldásai nem eléggé hatékonyak;
- a villamos ellátás rendszerében a megújuló energiahordozók legfeljebb 25-30 %-ban részesedhetnek az eddigi nemzeti tapasztalatok alapján;
- a repülés, a teherhajózás energia ellátásában még nincsenek szénhidrogént helyettesítő megoldások;
- a mezőgazdaság, az erdősziget termelését túlterheli az élelmiszer fogyasztásban a pazarlás;
- a koronavírus járvány több évre is visszavetheti a környezetvédelmi akciókat, a megújuló energiahordozók használatához szükséges fejlesztéseket.

A sokoldalú kutatási munka során eljutottunk a hidrogén újra felfedezéséhez, a hidrogén lehetséges szerepe megismeréséhez a légkör védelme érdekében.

Intenzíven kutatják a hidrogén alkalmazásának lehetőségét, az ipari léptékű energia-termelésben.

A hidrogénnek a villamos energiával szemben több előnye is van:

- hosszabb (korlátlan) ideig tárolható,
- földrajzi megkötés nélkül szállítható,
- egyre több célra felhasználható,
- előállítása nem helyhez kötött,
- nagy energia sűrűsége miatt az energia igényes iparágakban is helyet kaphat.

A hidrogén energetikai célú hasznosításában a legnagyobb lehetőség az acél-, üveg-, és cementiparban van, valamint a hosszú távú tengeri és légi szállításban, de a közúti közlekedés és a vasút is sokoldalúan tudja hasznosítani. A dekarbonizációs programok egyre nagyobb figyelmet fordítanak a hidrogénre.

A villamos energia tárolás mai technológiai problémáira is megoldást adhat a hidrogén. Az akkumulátoros áram tárolás állandó fejlesztése ellenére az akkumulátorok gyártásának energia igénye és közben a légkör szennyező hatása nagyon jelentős. Ezekre a gondokra adhat megoldást a hidrogén.

A hidrogént „színes” jelzőkkel illetik, az előállítás környezet szennyező hatása alapján:

- szürke hidrogén: a szénhidrogénekből előállított gáz, ahol a gyártás jelentős szén-dioxid légkörbe kerülésével jár együtt;
- kék hidrogén: a szénhidrogénekből előállított hidrogén jelölése, amikor a gyártás során keletkező szén-dioxidot befogják, elnyeletik, felhasználják;
- zöld hidrogén: a vízből elektrolízissel, vagy biometánból előállított hidrogén, nulla légköri szennyezéssel.

A hidrogén egyre szélesebb körű használatával együtt jár a hidrogén szivárgása a gyártó, tároló, szállító, felhasználó rendszerekből. A levegőbe kerülő hidrogén különösebb gondokat nem okoz, míg a légkör átlagos hidrogén tartalma nem haladja meg a 2 ppm mértéket, a mai légköri hidrogén tartalom kb. kétszeresét. A levegőbe kerülő hidrogén reakcióba lép a légkörben lévő ózonnal és víz(pára) keletkezik. A 2 ppm szintet meghaladó légköri hidrogén tartalom veszélyezteti a Földet védő ózon pajzsot, ami a Nap sugárzás és a földi hősugárzás egyensúlyának biztosítását látja el. A 20. század közepétől az egyre kiterjedtebben használtak a hűtőgépeknél fluor tartalmú (CFC gázok) gázokat. A légkörbe kerülő hűtőgázok szintén reakcióba léptek a légkör ózon tartalmával, és ezzel a légkör mérhető melegedését okozták. 1980 körül

nemzetközi összefogással sikerült minimális szintre szorítani a CFC gázok használatát, ezzel a légköri ózon védőréteg majdnem tökéletesen visszaállt. (A sarkvidékeken maradtak „ózon lyukak”).)

A hidrogén gondatlan használata veszélyeztetheti a földi atmoszférát, vagyis a hidrogén bekerülhet az üvegház hatású gázok csoportjába.

John Eiler a Caltech Intézet geokémia professzora megállapította, hogy ma még nem tudunk mindent a hidrogén környezetre gyakorolt hatásaiból, de a légkörbe kerülő hidrogén hatása az előzőekben leírtak lesznek. [102] A hidrogén egy része a talajba kerülhet, ahol a mai ismeretek szerint jelentős, káros hatást nem fejt ki.

### Európai és nemzetközi előírások, szabványok [1]

Az előírások az ipari léptékű hidrogén használat korai szakaszában készültek. Ma a különböző kutatóintézetek a földgázba bekeverhető hidrogén tartalmat 10-25 tf%-ban határozzák meg, de a kutatások jelenleg is folynak.

- MSZ EN 16726:2015+A1:2018 Gázinfrastruktúra. Gázminőség. H gázcsoport szabvány „E” melléklete a hidrogéntartalom határértékének meghatározására;
- MSZ EN 16723-1:2017 A közlekedésben felhasználható földgáz és biometán, valamint a földgázhálózatba való betáplálásra alkalmas biometán. 1. rész: Földgázhálózatba való betáplálásra alkalmas biometán előírásai;
- EASEE-gas 2005-001/02 Harmonisation of Gas Qualities a földgázhoz csak elhanyagolható hidrogén mennyiség keverhető (2005-ben!);
- MSZ EN ISO 13686:2013 Földgáz. Minőségi jellemzők. A hidrogén tartalomra az EASEE-gas ajánlást ismétli meg;
- UN/ECE 110 előírás (CNG tartályok) a hidrogéntartalmat 2 tf%-ban kell korlátozni, ha a tartályokat olyan acélból készítik, amelynek szakítószilárdsága meghaladja a 950 MPa-t.

### Európai programok a hidrogén használatra (példák)

2019 októberében az Európai Bizottság és a Hydrogen Europe ipari szövetség új tervet bocsátott ki az Európai Unió „zöld” hidrogén termelésének elősegítésére. [108] A program célja, hogy az ipar a megújuló erőforrásokból nyerhető elektromosságot minél nagyobb mértékben elektrolízis céljára, hidrogén és oxigén termelésre hasznosítsa. A termelt hidrogént a vegyipar és a szénmentes üzemanyag gyártás nagyüzemi szinten használhatja. A terv keretében Európában legalább nyolc ipari méretű beruházást indítanak a következő 5-10 évben. A teljes befektetés nagysága 67 milliárd dollár lehet. A befektetett összeg jelentős részét nap- és szélenergiák

kapacitásának növelésére fordítják. A pénz egy része az európai és a nemzeti finanszírozásban lesz biztosítva a magán befektetők tőkéjén kívül. A befektetésekkel a zöld hidrogén termelés kb. 3 millió tonnával nőhet, és ezzel évi 35 millió tonna szén-dioxid kibocsátást lehet megtakarítani. A legnagyobb tervezett projekt a „Silver Frog” 15 GW teljesítménnyel évi 800 ezer tonna hidrogént fog termelni ipari felhasználók részére. Ez a projekt évi 8 millió tonna szén-dioxid kibocsátást fog kiváltani. A beruházás 12-20 milliárd dollár között lesz.

Az Európai Bizottság még 2010 májusában bocsátotta ki a „Stock taking document Towards a new Energy Strategy for Europe 2011-2020” dokumentumot, az alacsony szén-dioxid kibocsátással járó technológiák, közöttük a hidrogén használatának felgyorsítását szorgalmazza. A dokumentum megállapítja, hogy a hidrogén és a tüzelőanyag-cellák az egyik olyan kulcsfontosságú technológia, amelytől az Európai Unió a szén-dioxid kibocsátás csökkentési célok eléréséhez már a 2020-ig terjedő időszakban is jelentős hozzájárulást vár. Az ezt követő időszakban 2050-ig különösen a hidrogén technológiák közlekedési alkalmazását, az akkumulátoros villamos hajtással együtt, döntően elősegíthetik az európai szén-dioxid kibocsátás minimalizálását.

Az európai villamos energia- és földgáz rendszer üzemeltetők egy olyan közös hálózati terven dolgoznak, amely teljesíti az Európai Bizottság azon célját, hogy 2050-re megszűnjön a (további) szén-dioxid kibocsátás Európában. Ez azt jelenti, hogy addig a földgáz már nem lesz az energia mix része. Jan Ingwersen, a Földgázpiaci Szállítási rendszer-üzemeltetők Európai Hálózatának (ENTSOG) igazgatója szerint: [21]

- az EU gáztárolóinak kapacitása 1200 TW, képes biztosítani az európai energiarendszer rugalmasságát;
- a hidrogén is beléphet a földgáz tárolók használatába;
- a gázvezetéseket úgy alakítják ki, hogy alkalmasak legyenek földgázhoz kevert, vagy tiszta hidrogén szállítására is;
- amíg az EU egész területén nem adottak a hidrogén vezetékes szállításának feltételei, addig regionális kísérletek és fejlesztések folynak;
- a villamos energia – és földgáz rendszerirányítók olyan hálózat fejlesztési terven dolgoznak, amely megvalósításával teljesülhet az EU azon célkitűzése, hogy 2050-re az energetikai célra használt földgázt a szállító rendszeren hidrogén váltsa fel.

2017 januárjában a Toyota, Air Liquide, Altom, Anglo American, BMW, Daimler, Engie, Honda, Hyundai, Kawasaki, Linde, Shell és Total létrehozta a *Hidrogén Tanácsot*. A globális, magas szintű tanácsadó testület célja azon túl, hogy bemutassa a hidrogén

alapú technológiák fejlesztése területén elért legfrissebb eredményeket az, hogy rávilágítson azoknak az energiaváltásban betöltött központi szerepére a klímacélok, az energiabiztonság és a versenyképesség vonatkozásában, és fellépjen a jobb alkalmazási körülmények, például a jogi környezet és a gazdasági szabályozói háttér érdekében. Ez utóbbinak egyik legfontosabb eszköze az együttműködés az ajánlások megfogalmazása a politikai döntéshozók, az üzleti közösségek, a nemzetközi és civil szervezetek számára. A testület tagjai közel másfél milliárd eurót fektetnek évente a hidrogéntechnológiák fejlesztésébe, népszerűsítésébe. [43] [93]

*Linz Hydrogen Initiative* [30] 2018. szeptember 17-18-án Linzben 25 ország képviselői konferenciát tartottak a hidrogén alkalmazás jelenének áttekintéséről és a jövőbeli alkalmazás lehetőségeiről. A konferencia kezdeményezését elfogadták az EU energiaügyi miniszterei is. A kezdeményezés főbb megállapításai:

- Az ENSZ és az EU dekarbonizációs céljai reálisak lehetnek, ha az azt elfogadó országok a cél érdekében a középtávú vállalásaikat tudják teljesíteni. Ebből a szempontból a Párizsi megállapodás koordinátáit tekintik célnak a hidrogén szakma képviselői is.
- Az ipar jelenleg kibontakozó automatizálási és digitalizációs tendenciái és eredményei mellett az energia felhasználás mértékének és az energiahordozó összetételnek is változni kell.
- A megújuló energiahordozók felé fordulás mellett a felhasználási technológiák fejlesztése, új energiahordozók bevezetése is fontos cél.
- Annak érdekében, hogy a hidrogén, mint energiahordozó potenciálját kiaknázhassuk, a hatékony és biztonságos, tiszta energia ellátásban az energiafogyasztók számára a hidrogénhez kapcsolódó kutatást és innovációt tovább kell erősíteni.

Az *Európai Bizottság* a Hydrogen Europe ipari szövetséggel együtt egy új tervet jelentett be 2019 őszén, amelynek keretében a „zöld” hidrogén termelést szeretnék elősegíteni. [80] A program célja, hogy az ipar a megújuló energia forrásokból nyert villamos energiát használja a hidrogén termelésére. A terv keretében legalább nyolc ipari méretű beruházást indítanak 2030-ig. A beruházások összesen 67 milliárd dollár nagyságúak. A beruházások nagyobb része nap- és szélenergia hasznosítási, illetve áramtermelő beruházások lesznek. A beruházásokkal évente 3 millió tonna hidrogént termelnek, és ezzel évi 35 millió tonna szén-dioxid kibocsátás csökkenést érhetnek el.

A *Nemzetközi Energiaügynökség* (IEA) szerint a zöld hidrogén 2030-tól válhat versenyképpé a kék hidrogénnel szemben, miután a zöld hidrogén termelésének fokozására irányuló igény erősödésével az elektrolízis költségei jelentősen



csökkennek. Így 2030-2035 körül válhat a hidrogén ellátásban a zöld hidrogén általánossá, a szén-dioxid kvóta árak emelkedése következtében. [114]

*Műhelytanácskozás a hidrogéngazdaságról* [31] 2019. szeptember 26-án Budapesten tartottak műhelytanácskozást hét közép-európai ország és Nagy Britannia képviselői a hidrogéngazdaság fejlesztésének tartalmáról. Teljes egyetértés volt a résztvevők között a légkör-védelem sürgető feladatairól, a szén-dioxid emisszió csökkentés fontosságáról. A résztvevő országok elfogadták - Lengyelország kivételével -, hogy 2050-re az üvegház hatású gáz kibocsátás nettó nulla legyen. Tanulságos volt a budapesti brit nagykövet előadása, melyben vázolta, hogy Nagy Britannia 2030-ra el akarja érni az új személygépkocsik értékesítésében az ultra alacsony kibocsátásúaknál legalább az 50 %-ot, teherjárművek esetében 40 %-ot. A klímaegyezmény céljainak elérésére Nagy Britanniában a kutatásra, fejlesztésre szánt összegek 2027-re a nemzeti össztermék 2,4 %-át el fogják érni. Az akkumulátoripari innovációra mintegy 250 millió fontot terveznek fordítani. Nagy Britannia az EU tagság alakulásától függetlenül együttműködik az EU tagállamokkal a klímaváltozás elleni fellépésben. A tanácskozáson az ITM képviselője megerősítette, hogy hazánk is elkezdte a hidrogén üzemanyag struktúra kiépítését: tervbe vették két hidrogén töltőállomás megépítését 2020 végéig. Magyarország energia ellátása nagyban függ a földgáztól, ezért napirendre kerül a földgáz és a hidrogén együttes kezelésének elemzése.

*IPCEI a hidrogén-technológiák támogatására* [44] 2019. október 9-én Brüsszelben az Európai Bizottság DG GROW Főigazgatósága és a Hydrogen Europe közös szervezésében konferenciát tartottak „Hydrogen for Climate Action” címmel. A rendezvény célja az volt, hogy közös platformot teremtsen a legígéretesebb hidrogén-technológiai alkalmazások fejlesztésének, elterjesztésének elősegítésére. A hidrogén használat terjesztése bekerült az IPCEI-be (Important Project of Common European Interest), azaz a „közös európai érdeket szolgáló fontos projektek” közé. Ez a belső piaci szabályokkal összhangban támogatási rendszert is jelent, a tagállamok részéről stratégiai jelentőségű technológiák, iparágak körében. Az Európai Bizottság 2019. november 5-én közzétette azt a hat stratégiai és jövő orientált ipari ágazatot, amely kiemelt támogatást kaphat. Ezek között szerepel a hidrogéntechnológiák és -rendszerek fejlesztése, alkalmazása is.

A *Horizon 2020* program keretében az EU Hidrogén és Tüzelőanyag-cellák Közös Vállalkozása 2020. januárban írta ki a 2020. évre szóló pályázati felhívását hidrogén technológiai projektek fejlesztésére. [81] A pályázati felhívásban a hidrogén termelés, -felhasználás, -tárolás, -szállítás 24 különböző részterületére várnak kutatási,



fejlesztési pályázatokat. A pályázható keret 93 millió euró, ehhez kapcsolódik még a pályázók saját pénzforrása is.

Megalakult a *Nemzeti Hidrogén-technológiai Platform*. A Magyar Kormány támogatásával létrejött a Valor Hungariae Zrt., az Eötvös Lóránd Kutatóhálózat és a Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület összefogásával az a szervezet, amely innováció integrátori és hasznosítási feladatokat vállal a hidrogén gazdaság fejlesztésében érintett és érdeklődő magyar vállalkozásoknak. Az operatív feladatok ellátására egy stábot hoztak létre, amelyben a három alapító szervezet mellett az MVM, a MOL Nyrt., és a járműipar képviselői: az AVL Hungary Kft., valamint a Kontakt-Elektro Kft. vesz részt. Az ITM helyettes államtitkára kiemelte, hogy tekintettel a jelentős ipari és szakmai potenciálra, amit a hidrogén technológiák a magyar gazdaság számára jelenthetnek, első körben kiemelten fontos egy stratégiai szintű dokumentum, egy „fehér könyv” létrehozása, amely magában foglalja mindazt a tudást, szabályozási feladatokat, technológiákat, amelyek Magyarországon már rendelkezésre állnak.

A világpiacon tapasztalt energetikai fejlesztési eredményeken már látható egy új iparág, a hidrogéngazdaság megszületése. A technológia megvalósításában élenjáró országok: Kanada, USA, Dél-Korea, Japán, Kína. Az Európai Unióban az utóbbi néhány évben igyekeznek behozni a lemaradást, kiugróan magas uniós és külön állami finanszírozást biztosítva a fejlesztő cégeknek és konzorciumoknak.

A magyar energia piac legjelentősebb energiahordozója a földgáz, melynek felhasználása és a földgázellátás rendszere kínálja is a lehetőséget a hidrogén szélesebb körű bevezetésének. A földgáz részesedése a közlekedés energia igényének kielégítésben ma már túllépett a kísérletek szakaszán, a sűrített-földgáz hajtás elsősorban a városi tömegközlekedésben jó ütemben terjed. A járműveknél látszik leegyszerűbbnek a hajtóanyagok közé bevezetni a hidrogént. A hidrogén használatával a járművek konstrukciója lényegesen leegyszerűsödhet, és a sorozatgyártás feltételeinek megteremtése után a hidrogén-hajtású jármű árban is versenyképes lehet a szénhidrogén-hajtással szemben. A szélesebb körű elterjesztéshez a hidrogén tankolás lehetőségének megteremtése szükséges, erre pár éven belül valós lehetőség lesz. A nagyobb arányú hidrogén fogyasztás beindulásával a prognosztizált hidrogénár 2030-ban 6-8 EUR/kg lehet.

## 4. A hidrogén története

---

A hidrogén a Föld felszín és a világűrben leggyakrabban előforduló elem: a normál anyag tömegének 75 %-át, az atomok számának 90 %-át alkotja. A Föld atmoszférájában az elemi vagy molekuláris hidrogén csak kb. 1 ppm sűrűséggel fordul elő. A hidrogén ma is képződik a természetben, baktériumok és algák anyagcseréjének terméke. Az ember emésztőrendszerében lévő baktériumok is termelnek hidrogént. A hidrogént ma még nem soroljuk a klasszikus megújuló energiahordozók közé, szerepe viszont a környezet kémelésében kiemelkedő lehet a jövőben.

A hidrogént Robert Boyle fedezte fel 1671-ben. Henry Cavendish 1766-81 között ismerte fel, hogy a hidrogéngáz egy diszkrét anyag, aminek elégetésekor víz keletkezik. Erről a tulajdonságáról kapta a „vízképző” nevet, görögül: υδρογόνο.

William Nicholson és Antony Carlisle 1800-ban állított elő hidrogént elektrolízissel.

Legkorábbi hidrogénmotort 1807-ben Francois Isac de Rivaz fejlesztette ki. [58]

1830-ra tehető a hidrogén-cella felfedezése.

1852-ben elsőként Henri Griffard hidrogénnel töltött léghajóval repült.

Már 1898-ban sikeresen cseppfolyósított hidrogént James Dewar.

A szén alapú városi gáz hidrogén tartalma akár 50 % is lehetett, és ezt a gázt vezetékeken is szállították a felhasználóknak, bár jegyezzük meg, ez a gáz kisnyomású és egyben nedves is volt. Háztartásokban, intézményekben fűtésre, vízmelegítésre használták. Az ipari felhasználók hőtermelésre és egyes kémiai reakcióknál is használták a városi gázt. Ismerjük az első léghajók esetét is, különösen a begyulladt hidrogén miatti katasztrófákat. Budán 1856-ban indult el a városi gáz szolgáltatás. Az első évben 45 km elosztóvezeték és 839 közvilágítási lámpa üzemelt. Az éves gáztermelés 1,7 millió m<sup>3</sup> volt.

1937-ben a hidrogénnel töltött Hindenburg léghajó szerencsétlenségére sokan emlékezhetünk, a hiteles dokumentumfilmek alapján.

1937-ben Daytonban hidrogén hűtésű turbo-generátort próbáltak ki.

1943-ban Németországban hidrogén-peroxid hajtású tengeralattjárót építettek.

1963-ban a Gemini űrhajó energia ellátására 1 kW teljesítményű hidrogén-cellát használtak.

1977-ben készült el az első nikkel-hidrogén akkumulátor, űrhajózási célra.

1988-ban Tu-155 típusú repülőgépet készítettek a Szovjetunióban hidrogénhajtással.

A hidrogén ipari használatának történetében a 2000. év körül állt be fordulat, a hidrogén gyártás technológiája fejlesztésével: a szén alapú hidrogén termelést kiszorította a szénhidrogén alapú gyártás. 2006-ban a világ hidrogén felhasználása már 425 milliárd m<sup>3</sup> volt. Ugyanebben az évben az USA hidrogén fogyasztása 222 milliárd m<sup>3</sup>. Ennek 38 %-a az ammónia termelést szolgálta, 37 %-ot a kőolaj-feldolgozás igényelt, 12 %-ot szintézisgáz termelésre használtak, 10 % metanol gyártáshoz kellett, és 3 % fogyott egyéb célokra. [39] 2020-ban 80 millió tonnára becsülhető a világ hidrogén felhasználása.

#### *Magyar programok és projektek a hidrogén használat elterjesztésére*

Magyarországon a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH) még 2008-ban létrehozta a Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Nemzeti Technológiai Platformot. Ez a dokumentum a nemzetközi trendek felmérése és elemzése alapján megállapította, hogy hazánk a technológiailag fejlett országokhoz képest legalább tíz évvel le van maradva a hidrogén ipari célú alkalmazását illetően. Az elmaradás mérhető az oktatás, a kutatás-támogatás és az eredmények demonstrációja területén is. A Platform az elmaradás mérséklése érdekében Stratégiai Kutatási Tervet és ehhez Megvalósítási Tervet is kidolgozott. Ezt követően az Új Széchenyi Tervben megjelentek a javasolt lépések a hidrogén alkalmazás kiterjesztésére. A tüzelőanyag-cellák alkalmazási területeiként a következő területeket jelölték meg:

- közlekedés, ezen belül is a közúti közlekedés,
- kapcsolt hő- és villamos energia termelés,
- szünetmentes tápegységek,
- kis teljesítményű mobil alkalmazások.

A magyar kormányzati dokumentumok, programok pontosan követik az EU ajánlásait, és célként jelölik meg a fejlesztések között a Nyugat-Európában már elért kutatási eredményeket. A magyar fejlesztésekhez szükséges pénzforrásokról azonban a kormányzat csak igen szerény mértékben gondoskodott.

A hidrogén használata a különböző technológiákban már 2010-ben is eléggé elterjedt volt a magyar iparban, a hidrogén gyártása, szállítása, tárolása technikailag megoldott volt a vegyiparban, a fém megmunkálásban, az élelmiszeriparban.

#### *Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve (NEKT)*

A Kormány egyik, 2018. decemberi ülésén döntött, hogy új, középtávú energia stratégiát kell kidolgozni. A munkát az ITM irányítja. A Kormány elrendelte, hogy az új energia stratégia a következő szempontokat vegye figyelembe:

- legyen összhangban a Nemzeti Energiastratégiával (2030-ig);
- a rezsicsökkentés eddigi eredményeit vegye figyelembe;
- felül kell vizsgálni az egyetemes szolgáltatás keretében a gáz- és villamos energia szolgáltatás ellátási rendszert, az energia hatékonyság javítása érdekében, de tekintettel a nemzeti energia függetlenségi törekvésekre is;
- ki kell dolgozni az egyetemes szolgáltatás területén a villamos energia és a földgáz szolgáltatás indokolt költségei kezelésének új rendszerét;
- vizsgálni kell a hazai földgáz ellátás forrásainak elemzését, célul tűzve ki a forrás diverzifikáció újabb lehetőségeit;
- elemezni kell a hazai földgáz vagyon nagyobb mértékű kitermelése lehetőségét.

A Kormány ugyanakkor határozott arról is, hogy:

- 2030-ra legalább 40 %-os üvegház hatású gáz kibocsátás csökkentést kell elérni,
- a megújuló energiaforrás mértéke 2030-ra érje el a 20 %-ot,
- az energia hatékonyság 2030-ra ne haladja meg a 2005-ös szintet,
- 2030-ig az energia fogyasztás 8-10 %-al csökkenjen.

2020. januárban a miniszterelnök az évköszöntő beszédében említi a NEKT megjelenését. **Kiemeli a tervből, hogy Magyarországon 50 ezer milliárd forintra van szükség ahhoz, hogy 2050-re a villamos energia termelés teljesen karbon semleges legyen, a földgáz felhasználást teljes egészében kiváltsuk és a közlekedés teljes mértékben villamos alapú legyen.**

*Az ITM 2020. januárban közreadta a NEKT-et*

A NEKT kapcsolódik az új Nemzeti Energiastratégiához, a Második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiához, az Első Éghajlatváltozási Cselekvési Tervhez, az Országos Fejlesztési és Területfejlesztési Konceptióhoz.

A NEKT 2030-ig ad előretekintést, egyes esetekben 2040-ig.

A NEKT legfontosabb célkitűzései:

- energia szuverenitás,
- energiabiztonság megerősítése,
- rezsicsökkentés eredményeinek fenntartása,
- energiatermelés dekarbonizálása: atomenergia és megújuló energiahordozók együttes alkalmazásával.

Kiegészíti még a fentieket:

- az ipari és a közlekedési energia felhasználás csökkentése,
- elektromobilitás elterjesztése,
- háztáji, saját célú energia termelés támogatása.

A NEKT főbb elemei:

#### A. Dekarbonizáció

Magyarország célja, hogy 1990-hez képest 2030-ig az üvegház hatású gáz (ÜHG) kibocsátás 40 %-kal csökkenjen, azaz a bruttó kibocsátás 2030-ban ne legyen több, mint bruttó 56,19 millió tonna szén-dioxid egyenérték, ami a 2017-es kibocsátás 7,6 millió tonnás csökkentését jelenti.

A program:

- A lignit kivezetése a villamos energia termelésből 2030-ig. A Mátrai Erőműben a lignit tüzelés leállítása, helyette földgáz és hulladék tüzelés bővítése, valamint újabb napelem parkok telepítése.
- 100 ezer háztartás lignit tüzelése helyett napelemek létesítését szorgalmazza a terv.
- 2030-ig két új nukleáris erőmű blokk épülhet meg, összesen 2400 MW teljesítménnyel. Ez a szén-dioxid kibocsátás mentes áramtermelés zöldítheti a közlekedés ÜHG kibocsátásának szintjét. 2035-re a két régi blokk leáll.
- A megújuló energiák használatának terjesztését a fűtési és hűtési szektorban 30 %-ra tervezi emelni a NEKT, első sorban a távfűtésben.
- A közlekedésben a megújuló energiahordozók arányát 14 %-ra tervezi.
- A megújulók használatának emelése a villamos energia termelésben: 2030-ra 20 %-ra. (Most kb. 14 %)
- A háztartási napelem parkok számának erőteljes növelése: 2030-ra legalább 200 ezer háztartásban legyen átlagosan 4 kW teljesítményű napelem.

#### B. Energiahatékonyság

Célkitűzés, hogy a végső energia felhasználás 2030-ban ne haladja meg a 2005-ös értéket, a 785 PJ szintet. Az esetleges magasabb szintet kizárólag megújuló energiahordozókból lehet előállítani.

#### C. Energiabiztonság

Az energiahordozó import ellátás-biztonsági és ár kockázatot jelent. Valamennyi import energiahordozót tőzsdei árral áraznak be. A tőzsdei árak sok külső tényező

hatására alakulnak ki, aminek a kockázata magas. A kockázat az energia hatékonyság növelésével, a hazai megújuló energiaforrások jobb kihasználásával, a piaci integráció erősítésével mérsékelhető.

A villamos energia importot a belső felhasználás 20 %-a alá kell csökkenteni 2040-re.

A földgáz importot is csökkenteni tervezi a NEKT, a hazai földgáz felhasználás 70 %-át ne haladja meg az import. Ehhez a hazai földgáz kitermelés emelését (2030-ra 2,4 milliárd m<sup>3</sup> szintre) és a távhő ellátásban a földgáz szerepének csökkentésével tervezi a NEKT.

#### D. Belső energiapiac biztonsága

A nemzetközi villamos összeköttetések teljesítményét 2030-ra a NEKT mintegy 60 %-ra tervezi növelni. Segítheti a belső ellátás biztonságát a határon túli energia piacokkal (földgáz) történő összekapcsolódás is.

#### E. Kutatás, innováció és versenyképesség növelése

Támogatni tervezi a NEKT mindazokat a kutatásokat, amelyek az előző célok elérését elősegítik.

A NEKT a hidrogénnel kapcsolatban a következő programot vázolja:

*„Magyarország a biogáz/biometán mellett a megújuló energia felhasználásával előállított hidrogénre is alternatívaként tekint: a karbonmentes forrásokból termelt villamos energiával előállított hidrogén földgázhoz keverése innovatív, kísérleti szakaszban lévő, nagy potenciállal rendelkező, ám magas támogatási igényű opciót jelent, amely ugyancsak releváns a megújuló és dekarbonizációs célok teljesítése szempontjából. A lehetőség tesztelésére pilot projekt elindítását tervezzük földgázszállítói-, -tárolói és -elosztói szinten egyaránt.”*

A NEKT táblázatokba foglalt számszerű értékeket is közzétesz a várható részarányokról (2. táblázat; 3. táblázat; 4. táblázat; 5. táblázat; 6. táblázat).

**2. táblázat**  
**Primer energiahordozó termelés (Mtoe)**

	2020	2025	2030	2035	2040
Szilárd tüzelőanyag	0,87	0,56	0,48	0,51	0,49
Kőolaj	0,89	1,05	0,85	0,74	0,71
Földgáz	2,07	2,43	2,49	2,12	1,92
Nukleáris	3,88	3,88	8,81	5,9	4,93
Megújuló	4,39	5,36	6,61	7,24	7,87
Összesen	11,15	13,27	19,25	16,51	15,92

**3. táblázat**  
**Villamos energia és földgáz külkereskedelem 2018-ban**

	Villamos energia export GWh	Villamos energia import GWh	Földgáz export millió m <sup>3</sup>	Földgáz import millió m <sup>3</sup>
Ausztria	591	3753	-	3247
Szlovákia	60	6813	-	10
Ukrajna	5	5055	3382	9458
Románia	1042	588	179	30
Szerbia	1226	306	171	-
Horvátország	2750	725	1271	-
Összesen	5674	17 240	5003	12 745

**4. táblázat**  
**A megújuló energiahordozók részesedése az egyes energetikai ágazatokban (ktoe)**

	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Villamos energia termelés	403	515	628	741	856	970
Hűtés-fűtés	1946	1986	2025	2181	2451	2721
Közlekedés	194	291	389	421	389	357

**5. táblázat**  
**A megújuló energiahordozók részesedése a közlekedésben (ktoe)**

	2020	2022	2024	2026	2028	2030
Bioetanol	47	133	219	253	235	217
Biodízel	220	326	431	457	402	347
Megújuló villamos energia	37	38	56	96	158	220
Hidrogén	0	0	0	10	31	51

**6. táblázat**  
**Energiahordozó és szén-dioxid kvóta árak**

	Mértékegység	2020	2025	2030	2040	2050
Brent	USD/hordó	73	82	93	105	108
Földgáz	Euro/MWh	20	23	25	28	29
Szén	Euro/GJ	2	2	2	2	2
CO <sub>2</sub> kvóta	Euro/tonna	23	36	19	50	88
Biomassza	Ft/GJ	1800	1800	1800	1800	1800



A „Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig” és a „Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve” dokumentumok nagyon általános megállapításokat tartalmaznak a hidrogén lehetséges jövőjéről. A hidrogén széles körű alkalmazásának elősegítéséhez szükséges döntésekkel, a fejlesztések irányvonalának meghatározásával és a hidrogén használat elterjesztéséhez szükséges beruházásokkal nem foglalkozik a két dokumentum.

*Magyar világújdonság a 2in1 hidrogéncella:* [45] négy cég: Accuseeled Kft., MTA Műszaki Fizikai és Anyagtudományi Kutatóintézet, BME Gépjárművek Tanszék, VHJ Kft. közös kutatása arra irányul, hogy a hidrogén-cella ne csak előállítsa, hanem tárolja is a hidrogént. Az új hidrogén cella gyakorlati alkalmazására egy gépkocsit építettek. A fejlesztés eredményeként a kísérleti autóban 70 hidrogén-cella működik. A cellák várható élettartama 200-1000 ciklus, vagyis kb. 2-7 év. Egy cellában 80 liter hidrogén van. Az energia tartalom 150-170 Wh/kg. A cella töltési ideje 5-12 óra.

Hidrogént előállító reaktor fejlesztését indították el magyar szakemberek 2017-ben. [59] A Thalesnano Zrt. és a Szegedi Tudományegyetem közös projektje a hidrogént előállító és szén-dioxidot átalakító elektrokémiai reaktor kifejlesztése.

**A Magyar Fejlesztési Bank is partner az alternatív üzemanyagok támogatásában.** [109] Az Európai Bizottság 2019 novemberében meghirdette az alternatív üzemanyagok felhasználását támogató, 198 millió eurós pályázatát cégek, szervezetek részére. A vissza nem térítendő támogatás a projektek költségeinek 20 %-áig terjedhet. Az MFB a pályázat lebonyolításában vesz részt. Pályázni 2021. március 15-ig lehet.

**A magyar kormány 2020 márciusában indította el a négy csomagból álló energetikai innovációs programját.** [91] A program célja a megújuló, decentralizált áramtermelés súlyának növelése, az energiaszektor zöldítése, országos és helyi szinten a települési energia ellátás biztonságának növelése, a földgáz importot csökkentő megoldások támogatása. A négy támogatott fejlesztési cél:

- energia közösségek kialakítása és működésének támogatása (2 milliárd Ft);
- vezetékes hőenergia ellátási rendszerek létesítése újabb településeken, és a földgáz felhasználás csökkentése (3 milliárd Ft);
- karbonmentes energia termelő megoldások és létesítmények fejlesztése és a villamos energiából előállított gázok terjesztése (4 milliárd Ft);
- az átviteli- és elosztóhálózatok fejlesztése a megújuló energiával termelt villamos áram fogadására (3 milliárd Ft).

A pályázók vissza nem térítendő támogatást kaphatnak, de saját forrásokat is igénybe kell venniük.



A pályázat lehetőséget ad a magyar mérnököknek, vállalkozásoknak a megújuló energiahordozók használata új módszereinek kutatására, fejlesztésére, alkalmazására vonatkozó kezdeményezéseik megvalósítására. A pályázat későbbi kiterjesztésére számítani lehet.

**Az Innovációs és Technológiai Minisztérium 2020 márciusában írta ki a 2020-3.1.4-ZRF-EKM kódszámú pályázatát energiaközösségek kialakítását és működését támogató mintaprojektek megvalósítására. A pályázat két fő területe:**

- alkalmazott ipari kutatás: célja új ismeretek és szakértelem megszerzése, új eljárások vagy szolgáltatás kifejlesztéséhez, beleértve a prototípusok laboratóriumi környezetben vagy létező rendszerekkel együttes megépítését, valamint kísérleti sorozatok gyártását;
- kísérleti fejlesztés: új eljárások és szolgáltatások kifejlesztése, kísérleti modell kidolgozása és tesztelése.

A pályázat keretösszege 2 milliárd forint, mely kitűnő lehetőség a hidrogén alkalmazás területéről az elektrolízissel termelt hidrogén használatához kapcsolódó fejlesztések támogatására:

- járművek tankolására telepített vagy mobil hidrogén termelő és -töltő berendezés,
- ipari berendezés hidrogén hajtásának kifejlesztése,
- CO<sub>2</sub> kibocsátás kiváltása hidrogénnel,
- szolár áramtermelés szezonálisának kiegyenlítése hidrogén-cellával.

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal 2020. márciusi pályázata célzottan a hidrogén-technológiák megvalósítására irányul. A „Karbonmentes, többlet villamos energia innovatív technológia által gázenergiává (hidrogén, biometán) történő alakítását célzó fejlesztések megvalósítása” című pályázatra az igényelhető támogatás 1,0-2,5 milliárd Ft, a keretösszeg 4 milliárd Ft. Kifejezetten ipari kutatásról, fejlesztésről szól a pályázat. [112]

## 5. A hidrogén tulajdonságai

A hidrogén a Földön elemi állapotban csak ritkán fordul elő, kötött állapotban viszont (például víz, szénhidrogének) a leggyakoribb elem. A hidrogént ezért nem tekintjük primer energiahordozónak, szekunder energiahordozó. A világűrben a legelterjedtebb elem. [8] [10]

Atomtömege:	1,007825 g/mol
Elektronegativitás:	2,1
Sűrűség (20 °C-on):	$0,0899 \cdot 10^{-3}$ g/mol
Olvadáspont:	-259,2 °C
Forráspont:	-252,8 °C
Kritikus pont:	32,97 K; 1,293 MPa
Atomsugár:	0,12 nm
Ionsugár:	0,208 nm
Első ionizációs energia:	1311 kJ/mol
Disszociációs energia:	435,9 kJ/mol
Felső hőérték:	286 kJ/mol

*A hidrogén nemzetközi biztonságtechnikai kódjai [61]*

A 1907/2006 (EK) és a 2015/830 (EU) rendeletek szerint

BA szám:	HU-H2-067A
CAS szám:	1333-74-0
EINECS-szám:	215-605-7
EK Index szám:	001-001-00-9
Regisztrációs szám:	regisztráció mentes
RTEC szám:	MW 8900000

Osztályozás a 1272/2008/EK rendelet szerint

Fizikai veszélyek:	Flam. Gas 1 H220 (gyúlékony) Press. Gas (Comp.) H 280
Óvintézkedések (CLP):	megelőzés: P210 elhárítás: P377 tárolás: P403
Szárazföldi szállítás (ADR/RID):	
Osztály:	2
Osztályozási kód:	1F
Veszélyt jelző szám	23

A hidrogén tulajdonságai sok szempontból kedvezőek: nem mérgező, nem rákkeltő, nem üvegház hatású, nem radioaktív, a környezetbe kijutó hidrogén nem okoz semmilyen maradó környezetszennyezést.

A hidrogén használata azért is került most az energetikai fejlesztések közé, mert:

- Alapanyaga korlátlanul áll rendelkezésre víz és egyéb anyagok formájában;
- Előállításának több módja is ipari léptékben alkalmazható;
- Égésterméke víz, nem szennyezi a környezetet és a légkört;
- Közvetlenül lehet a hidrogénnel villamos áramot előállítani;
- Levegőn vagy oxigéngázban meggyújtva vízzé ég el:  
$$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 = 2 \text{H}_2\text{O}$$
- A reakció entalpiája: -286 kJ/mol, ennek alkalmazható része: -237 kJ/mol;
- A fajlagos munkavégző képesség: 118,5 MJ/kg, térfogategységre vonatkoztatva (25 °C-on, 1 bar nyomáson): 9,9 MJ/m<sup>3</sup>.

További jellemzői:

- A hidrogénatomban lévő alapállapotú elektron energiaszintje -13,6 eV, amely egy 92 nm hullámhosszúságú ultraibolya fotonnak felel meg;
- Égetésekor felszabaduló entalpia 286 kJ/mol;
- Lánghőmérséklete: 2100 °C;
- Minden oxidálószerrel reagál;
- GHS (Global Harmonised System – veszélyes vegyi anyagok azonosítása) besorolás: tűzveszélyes gáz 1.

A hidrogént az ipar széles körben használja: ammónia előállításra, zsírok és olajok hidrogénezésére, metanol gyártáshoz, hegesztéshez, plazmavágáshoz, stb.

Meg kell jegyezni, hogy a hidrogén égésterméke a vízgőz az üvegház hatású gázok közé tartozik.

A hidrogén egyre szélesebb körű használata valószínűsíti, hogy egyre több hidrogén gáz kerül a légkörbe, a mai 1 ppm körüli hidrogén koncentráció többszörösre emelkedhet. [89] A hidrogén a légkörben reakcióba lép az ózonnal, és vízzé oxidálódik. Az ózon kivonásával viszont a légkör napsugárzás elleni védelme csökken, a klímaváltozás fő oka a légkör melegedése tartós és intenzív lehet.

### *A hidrogén izotópjai [10]*

A természetes hidrogénben 99,985 %-ban az atomonként egy protont tartalmazó próciumnak nevezett atomok vannak. Szokásos jelölése: 1H.

0,015 %-ban fordul elő a hidrogénben a deutérium, vagy nehéz hidrogénnek nevezett anyag. Ennek atommagja egy protont és egy neutron tartalmaz. Ennek az izotópnak a vegyülete a nehézvíz, amelyet a termonukleáris reakcióknál használnak kiindulási anyagként. Jelölése: 2H

A hidrogén harmadik izotópja a trícium. Radioaktív tulajdonságú, atommagjában egy proton és két neutron van. Béta sugárzás mellett bomlik, felezési ideje 12,5 év. A természetes hidrogénben csak nyomokban található. Jelölése: 3H.

### *A hidrogén fizikai-kémiai jellemzői [8] [10] [11]*

- A Mendelejev -féle periódusos rendszer első eleme. Kéttomos, apoláris szerkezetű molekulát: H<sub>2</sub> alkot. A H-H kötés igen stabil.
- Fizikai tulajdonságai: [58]
  - színtelen, szagtalan, nem mérgező gáz,
  - sűrűsége 14,4-szer kisebb a levegőnél,
  - rendkívül nagy a diffúzió sebessége és a fajlagos hőkapacitása,
  - nagy a hővezető- és az elektromos vezető képessége,
  - vízben kismértékben oldódik,
- egyes fémekkel intersticiális hidritként ötvözetet alkot,
- magas a gravimetriás energia sűrűsége, közel háromszorosa a folyékony szénhidrogéneknek, a térfogati energia sűrűsége viszont alacsony,
- fizikai, kémiai, tüzeléstechnikai tulajdonságai lényegesen eltérnek a szénhidrogénekétől, például: olvadáspontja -259,2 °C forráspontja -252,8 °C, kritikus hőmérséklete -239,9 °C, robbanási koncentráció határai: 4,0-80,8 tf %, öngyulladás hőmérséklete 585 °C, a levegőnél sokkal könnyebb,
- klór és hidrogén 1:1 keveréke robbanásszerű hevességgel egyesül sósavvá:  
$$\text{H}_2 + \text{Cl}_2 = 2 \text{HCl}$$
- fontos redukálószer,
- égésterméké víz, de a hidrogén égésénél a levegő nitrogén tartalma miatt nitrogén-oxidok is keletkeznek, ami erősen légkör szennyező gáz,
- erősen redukáló hatású,
- nem mérgező,

- a hidrogén cseppfolyósítása ma már nem számít újdonságnak, a cseppfolyós levegő, a nitrogén, az oxigén és a földgáz cseppfolyósítása, tárolása, szállítása elegendő tapasztalat a cseppfolyós hidrogén kezelésére is.

### *A hidrogén és a fémek kölcsönhatása [12]*

A különböző fémekben a hidrogén eltérő mértékben oldódik. A szobahőmérsékleten a fémek hidrogén oldási sorrendje: Pt, Cu, Fe, Ni. A gáz- és a folyadék halmazállapotú hidrogén fémekben oldódása eltérő feltételekkel és mértékben jön létre.

A fémbe oldott hidrogén általában növeli a fém elektromos ellenállását. A rácsközi hidrogénatomok a vezetési elektronok szórásával hozzájárulnak az elektromos áram áthaladásához.

Ha néhány hidrogén atom egymáshoz közel épül be a fém molekulák rácsába, akkor deformálják a fém rácsszerkezetét, ezzel további hidrogén atomok belépését segítik elő. Ebből következik, hogy a hidrogén bizonyos koncentráció felett hajlamos csoportosulni a fémrácsban. A fémszerkezet ilyen változása a mechanikai tulajdonságok lényeges változását okozhatja.

A hidrogén tárolás, -szállítás rendszerének fejlesztése során sok anyag és a hidrogén kölcsönhatását vizsgálták. Ennek egyik sikeres állomása volt a réz ötvözetek és a hidrogén kölcsönhatásának vizsgálata is. Megállapították, hogy a Cu-DHP jelölésű réz ötvözet (99,9 súly % réz és 0,015-0,04 súly % foszfor ötvözet) kiválóan ellenáll a hidrogénnek, a fémötvözet rácsszerkezetét a hidrogén nem tudja megbontani.

### *A hidrogén és a vas kölcsönhatása*

A hidrogén ipari alkalmazása szempontjából a főleg acél ötvözet tároló tartályok, a vezetékek és technológiai berendezések hidrogén állósága, a hidrogén és a fém kölcsönhatásának eredménye fontos kérdés.

A vas tércentrált köbös kristályszerkezetében tetraéderes és oktaéderes kristály formulák találhatók. Alacsony hőmérsékleten a tetraéderes kristályok vannak nagyobb arányban, de a hőmérséklet emelkedésével az oktaéderes helyek aránya gyorsan nő.

A vas hidrogén oldó képessége szobahőmérsékleten igen kicsi, kb. 2 %. 1000 K hőmérséklet környezetében az oldhatóság már magas: kb. 2 cm<sup>3</sup> H<sub>2</sub>/ 100 gramm vas mértékű, és a vas szerkezetén belül már kb. 25 %-ra nő. A hőmérséklet emelkedésével kialakuló rácsszerkezet módosulás a hidrogén atomok diffúziójának erősödését teszi lehetővé.

Az elnyelt hidrogén a vasötvözetben elridegedéshez vezet, ami a szerkezeti anyagok korai fáradását, törését, porladását okozhatja. Ha nem megfelelő acél ötvözetet használunk a hidrogén tárolására, szállításra, és a fémszerkezet 400-750 °C hőmérséklet tartományba kerülhet, akkor előáll a fém porladásának hívtat jelenség. Ha az acél szerkezet katódos korrózió védelem alatt áll, akkor a katódos polarizáció fokozza az acél hidrogén elnyelését.

#### *A hidrogén égésterméke*

Ha a hidrogént oxigén jelenlétében égetik el, akkor víz keletkezik. Ha a hidrogén égése levegőben történik, akkor a víz mellett nitrogén-oxidok is keletkeznek, a levegő nitrogén tartalmából. A nitrogén-monoxid (NO) és a nitrogén-dioxid (NO<sub>2</sub>) egyaránt jelen lehet az égéstermékben.

A nitrogén-monoxid a légkörbe kerülve azonnal nitrogén-dioxiddá oxidál.

A nitrogén-oxidok üvegház hatású, légszennyező gázok, ártalmasak az emberi szervezetre. A nitrogén-oxid és a nitrogén-dioxid légzőszervi megbetegedést okoz, nagyobb koncentrációban roncsolja a tüdő szövetét. A légkörben jelen van a dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O) gáz is, igen alacsony koncentrációban. Nagyobb koncentrációban belélegezve mámort okozhat.

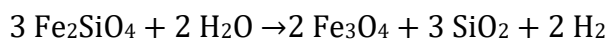
#### *A hidrogén detektálása a gázokban*

A hidrogén gázt érzékelő műszerek sokféle változatban állnak a gázipar rendelkezésére. A különböző kivitelű műszerek érzékenysége is változatos, a műszerek ppm koncentrációtól képesek kimutatni a hidrogént a levegőben.

A hidrogénnel kevert földgáz szivárgásának detektálása a ma kapható műszerparkkal közvetlenül nem oldható meg, a hidrogént vagy a földgáz metán tartalmát lehet mérni, és a gázkeverék szokásos összetétele alapján lehet a szivárgás mértékére következtetni.

## 6. A hidrogén gyártása

Oxigéntől elzárta, a Föld alsóbb rétegeiben hidrogén ma is keletkezik a fayalit ( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) kristályrácsában lévő szilikátok, a vízben lévő protonok ( $\text{H}^+$ ) általi anaerob oxidáció útján. A hidrogén létrejöttéhez vezető reakció:



Hidrogént termelnek különböző algák, enzimek is. Hidrogént termelnek az emberben és az állatokban élő egyes baktériumok is.

A világon az éves hidrogén termelés kb. 60 millió tonna, ez az energia mennyiség a világ 2018. évi primer energia felhasználásának 1,5 %-a. A világon a hidrogén termelés évente kb. 6 %-kal nő. [11]

A hidrogén ipari felhasználásban is Európa vezet, kb. 50 millió tonnával. Ennek kereskedelmi értéke kb. 400 millió euró. [37]

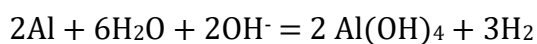
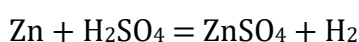
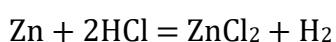
A különböző gyártási eljárással készült hidrogént jelzőkkel szokták megkülönböztetni: [47]

- kék hidrogén: előállítása függ az energiamixtól,
- zöld hidrogén: megújuló energiahordozókból előállított,
- szürke hidrogén: fosszilis energiahordozóból állítják elő biomasszából, biológiai úton.

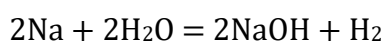
*A hidrogén előállítása laboratóriumban:*

Sokféle eljárás ismert, ezek közül néhány:

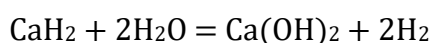
savakból, lúgból



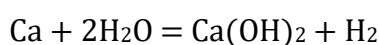
vízből fémekkel



fémhidridekből

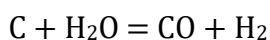


alkáli fém oldása vízben

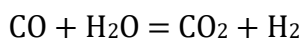


*Az iparban nagy mennyiségben állítják elő, köztük Magyarországon is: [6] [11]*

- **Vízgázreakcióval**, amelynek során izzó szénből és vízgőzből 1000 °C-on hidrogén és szénmonoxid keletkezik:



A keletkezett szén-monoxid víz hatására 450 °C hőmérsékleten vas-oxid-katalizátor jelenlétében szén-dioxiddá alakul és újabb hidrogén molekula nyerhető:



A szén-dioxidot nyomás alatt, vízzel kimossák.

A világon 2019-ben termelt hidrogén kb. 18 %-a készült ezzel az eljárással. Az eljárás a szén-dioxid kibocsátás miatt nem környezetbarát.

- **Földgáz bontással** (gőzreformálással). A földgáz tisztítása után a gázt túlfűtött gőzzel együtt egy katalizátor felülete mentén engedik át, általában 850-900 °C hőmérsékleten. A metán ilyen körülmények között először szén-monoxiddá oxidálódik és hidrogén szabadul fel. A felszabaduló szén-monoxid ezután a vízgőzzel reagálva kémiai átrendeződésen megy keresztül, ami szén-dioxid és hidrogén képződéshez vezet. A keletkező hidrogén tisztítása a végső lépés. Az eljárás endoterm, a technológia megvalósításához elengedhetetlenül szükséges, hogy magas hőmérsékleten és aktív nikkel katalizátor legyen jelen. A technológia lépései:
  - metán kompressziója, hevítése 260 °C-ra, a gáz tisztítása,
  - a víz ásvány és oxigénmentesítése és elgőzösítése 200 °C-on,
  - a metán és a vízgőz bevitele a reaktorcsőbe,
  - hevítés kb. 800 °C-ra,
  - reakcióba lép a metán és a vízgőz, nikkel bázisú katalizátoron:
$$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{hő} = 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$$
  - lepárló toronyban abszorpcióval leválasztják a szén-dioxidot, a szén-dioxidot cseppfolyósítják, általában ipari célra hasznosítják
  - a hidrogént tisztítják. [40]

Az eljárást kb. 40 bar nyomáson végzik, de eredményes kísérletek folytak kisebb nyomáson is. Az eljárás alkalmas biomasszából előállított biogáz (legalább 50 % metán tartalom) feldolgozására is. A földgáz reformálás útján nyert hidrogén minden kilogrammjára kb. 12,0 kg szén-dioxid kibocsátás jut. [64] A világon 2019-ben termelt hidrogén kb. 50 %-a készült ezzel az eljárással. A hidrogén termelés másik fontos alapanyaga a kémiai iparból, kőolaj feldolgozásból származó olajok, benzinek, ezek adják a hidrogén termelés kb. 30 %-át.



A földgáz reformálás útján nyert hidrogén minden kilogrammjára 11,9 kg szén-dioxid kibocsátás jut. [27] A gőzreformálási eljárás velejárója a keletkező szén-dioxid kezelésének problémája. A szén-dioxid megkötése, kivonása a hidrogén termelés költségeit kb. 30 %-al emeli. A technológia fejlesztésével foglalkozó intézményeket erősebben ösztönözhetné a szén-dioxid költség hatékonyabb kezelésének fejlesztésére a szén-dioxid kvóta alkalmazása.

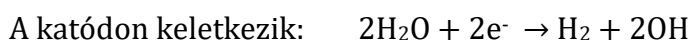
- **Metanol-víz reformálással**, hasonlóan a földgáz bontási eljáráshoz:



A világon 2019-ben termelt hidrogén kb. 18 %-a készült ezzel az eljárással.

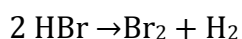
- **A víz elektrolízisével**

Egyenáram segítségével az elektrolitba merülő elektródák felszínén vízbontás játszódik le.



Az eljárással 80-95 % hatásfokkal lehet hidrogént termelni. a víz elektromos vezetőképességét általában enyhe savazással vagy lúgosítással javítják. 2,8 kWh elektromos energiával elő lehet állítani 1 m<sup>3</sup> hidrogént. Az eljárás szoba hőmérsékleten folyik. Az eljáráshoz elektrokémiaiilag stabil elektródákra van szükség. Sikeres kísérletek folynak víz helyett hidrogénbromid használatára. Az eljárás hátránya az, hogy nagy mennyiségű oxigént igényel.

A reakció:



A hidrogén-bromid regenerálható. A termelt nagy tisztaságú oxigén külön hasznosítható. A világon 2019-ben termelt hidrogén kb. 3,9 %-a készült ezzel az eljárással. Ha az elektrolízishez használt villamos áramot megújuló vagy nukleáris energiahordozóból állítják elő, akkor a hidrogén termelés nem jár szén-dioxid kibocsátással. [27] 2018-ban Magyarországon a bruttó villamos energia fogyasztás 8,5 %-a származott megújuló energiahordozóból [28], 2019-ben már 12,3 %.

Ma már az utóbbi három eljárást alkalmazzák. A hidrogén termelés jelenlegi és jövőbeli költségeit mutatja a 7. és a 8. táblázat.

**7. táblázat**

*A hidrogén termelési eljárások energia igénye és az előállítás átlagos költségei 2017-ben*

Eljárás	Energia igény (kWh/Nm <sup>3</sup> )	Költség (Ft/Nm <sup>3</sup> )
Földgáz bontás	0,05	45
Metanol bontás	0,05	78
Elektrolízis	4,51	110

**8. táblázat**

*A Cambridge Econometrics becslést adott közre a hidrogén előállítás jövőbeli költségeiről (EUR/kg) [34]*

	2020	2030	2040	2050
Elektrolízis	6,9	6,1	5,3	5,1
Metán gőzreformálás	6,1	4,2	4,0	3,7
Szén vízgáz reakció	5,5	3,2	2,9	2

*Mayer Zoltán és Kriston Ákos négy további hidrogén előállítási eljárást mutat be: [70]*

- Hidrogén előállítása napenergiával: a napsugárzást egy optikai kollektorrendszerrel egy pontra fókuszálják, és itt igen magas hőmérsékletet állítanak elő. A hőmérséklet elérheti a 2000 °C-t, ahol a víz termokémiai bomlása végbemegy, azaz hidrogénre és oxigénre esik szét. Az eddig (2012) megépült kísérleti naperőművek villamos teljesítménye 5 kW – 80 MW tartományba esik, de ezek a rendszerek csak napi 4-10 órában tudnak működni, és meglehetősen drágák.
- Hidrogén előállítása fotokatalízissel: a módszer lényege, hogy bizonyos katalizátorok (például a titán-dioxid) fény hatására képesek a vizet bontani, ezáltal hidrogént termelni. Biztató kutatások folytak (2012-ben) olyan nanostruktúrált többkomponensű katalizátorok kialakítására, amelyek a látható fény tartományban és szoba-hőmérséklet közeli állapotban képesek a vízbontásra. A fotokatalitikus vízbontásra irányuló kísérletek Budapesten, az MTA Kémiai Kutatóközpontban folynak.
- A Szegedi Tudományegyetemen és az MTA SZBK Biokémiai Intézetében folytatnak kísérleteket a biohidrogén előállítására. Egyes egysejtű élőlények: zöldalgák vagy baktériumok képesek napenergiával a vizet bontani, és ezzel hidrogént előállítani. A Chlamydomonas sp. 549-es alga törzs régóta ismert, hogy természetes és mesterséges bakteriális partnerek hatására fotoszintézis közben hidrogént termel. Az eljárást biofotolízisnek nevezik. Még az alap kutatásoknál tartanak. A cél olyan foto-bioreaktor kifejlesztése, amely a napenergiát kihasználva olcsó hidrogént állít elő. [92]

- Nukleáris alapú hidrogén termelés: az alacsony hőmérsékletű reakcióban a jód, a víz és a kén-dioxid reakciójában hidrogén-jodid keletkezik, amelynek elbomlásával hidrogéngáz nyerhető. A módszer előnye, hogy az összes vegyi anyagot visszaforgatják, és csak a hidrogén és oxigén lép ki a reakcióból. A reakcióba vizet kell folyamatosan beadni. A folyamat hatásfoka jó: 60 % körüli. 1000 °C hőmérsékleten. A hidrogén előállításra alkalmas atomerőművek:
  - magas hőmérsékletű gáz hűtéses reaktor (HTGR),
  - fejlett magas hőmérsékletű reaktor (AHRT), cseppfolyós fluorid só adalék hűtéssel,
  - folyékony ólom hűtésű reaktor (orosz BREST típus). [88]
- Az USA Energiaügyi Hivatalának terve szerint 2020-2025 között várhatóan beindul a kereskedelmi alapú hidrogén termelés. Egy 600 MW-os reaktor 200 tonna /nap hidrogént tud majd termelni.

*Új hidrogén előállítási eljárásokat mutat be a BME is: [84]*

- Hipersolar előállítás:  
A Hypersolar eljárással hidrogént állítanak elő a Nap energiájának felhasználásával, szén-dioxid kibocsátás nélkül. Szerves anyagból, hulladékból, szennyvízből készítenek hidrogént kémiai katalízis segítségével. A kísérletek egyelőre laboratóriumban utánozzák a természetben napfény hatására lejátszódó elektrotranszport folyamatot, ahogy a növényekben a víz oxigénre és hidrogénre bomlik.
- Biológiai előállítás:  
A mikrobiológiai erjesztés egyik végterméke a hidrogén. A Clostridiumok és más anaerob vagy fakultatív anaerob baktériumok a tejcukor erjesztése során nagymennyiségű hidrogént termelnek, általában szén-dioxid mellett. A cukoradagolást úgy lehet beállítani, hogy főleg hidrogén keletkezzen, és mellette csak minimális mennyiségű szén-dioxid.

Az egyes eljárások hidrogén előállítási költségeit a 9. táblázat mutatja.

9. táblázat

*A hidrogén előállítás költsége a különböző eljárásokkal 2004-ben és 2012-ben (USD/kg) [70]*

Hidrogén előállítás módja	Költség 2004-ben*	Költség 2012-ben
Szén elgázosítás	2,19	1,0
Biomassza elgázosítás	-	3,0-7,0
Elektrolízis, szélerőművi árammal és tárolással	-	6,0-7,0
Elektrolízis fotovoltaikus energiával és tárolással	6,82	5,0-6,0
Földgáz reformálás	2,28	1,4-2,1
Elektrolízis megújulóból nyert energiával	28,19	4,7
Elektrolízis szélerőműből	10,69	2,9
Nukleáris energiával magas hőmérsékletű elektrolízis	-	2-3

*\*Energoexpo 2008. Debrecen Dőry Zsófia előadása*

A szuperkritikus víz is a hidrogén termelés egyik eljárása lehet. Az MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet 2008-ban tette közzé a kutatás eredményeit. [72] A hőmérséklet kritikus értékénél és az ehhez tartozó kritikus egyensúlyi nyomásnál a folyékony víz és a gőz közti fázishatár eltűnik. Ennél magasabb hőmérsékleten semmilyen nyomás hatására sem lehet a gőzt cseppfolyósítani. A víz szuperkritikus állapotba került. A víz kritikus nyomása 22,05 MPa, kritikus hőmérséklete 374 °C. Ebben az állapotban a sűrűsége 0,32 g/cm<sup>3</sup>. A szuperkritikus állapotú víz tulajdonságait lehet a hidrogén gazdaságban felhasználni. A kutatások alapján legkönnyebben a biomassza vagy a szerves hulladék hidrogénre vezető lebomlása vezet eredményre. Az eljárást 700 °C-on és 30 MPa mellett víz nagy feleslegével lehet végrehajtani.

*Közvetett vízbontáson alapuló hidrogén termelés [40]*

Biokémiai eljárásokkal a fényenergiából az algákkal cukrokat lehet előállítani. A cukormolekulából az anaerob fermentáló baktériumok acetátot képesek csinálni. Az acetátból a fotofób baktériumok hidrogént fejlesztenek. Az eljárással egy molekula cukorból akár 12 molekula hidrogén is kinyerhető.

A norvég DNV GL kutató intézet 2020. februári jelentése szerint árban a zöld hidrogén 2030-tól válhat versenyképesé a kék hidrogénnel szemben, a növekvő hidrogén szükséglet miatt. A szénhidrogénekből gyártott, és a légkört szennyező szürke hidrogén termelés költségeit a szén-dioxid kvóta árak lényegesen megemelhették, és a zöld hidrogén előretörhet a piacokon. [76]

Szingapúri kutatók energia-hatékony módszert találtak a műanyag hulladékok lebontására. [98] Vanádiumot alkalmaznak gyorsító katalizátorként a fény hatására végbemenő folyamatban. A napfény 6 nap alatt lebontja az igen stabil polietilént. Ebben a kísérletben mesterséges napfényt alkalmaztak. A műanyag a folyamat során hangyasavvá ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) alakul át. Egy liter hangyasav 590 liter hidrogént tartalmaz.

A Stanford Egyetem kutatói új eljárást dolgoztak ki a hidrogén előállításra tengervízből. [83] A tengervíz sótartalma nagyon gyorsan tönkreteszi az elektrolízis berendezéseit, ezért volt szükség új megoldás kidolgozására. A kutatók nikkel-vas-hidroxidot és nikkel-szulfidot rétegeztek nikkelhab magra, és ezzel lényegesen lelassították a bevonat alatti fém bomlását. A nikkel hab elektromos áramot szállít a rendszernek, a nikkel-vas-hidroxid pedig elvégzi az elektrolízist. A megfigyelések szerint a bevonat nélküli elektróda nagyjából 12 órán át volt képes működni, a bevonattal több, mint 1000 órán át ellenállt a korróciónak.

Az University of Leeds mérnökei egy energia- és költséghatékony, ugyanakkor környezetbarát hidrogén előállítás fejlesztését mutatták be 2009-ben. [103] Céljuk a nagy tisztaságú hidrogén előállítása, amely eljárás alkalmas nagyüzemi hidrogén termelésre is. A hulladékokat gőzzel hevítik, így nyernek belőle hidrogént. Az előállításhoz aktivátorként biodízelt és növényi olaj maradékot, glicerint is használnak. A reakcióban hidrogén, vízgőz és szén-dioxid keletkezik. A vízgőzt hűtéssel kondenzáltatják, a szén-dioxidot szilárd szorbens anyaggal vonják ki a gázból.

A belga KU Leuven Egyetem kutatóinak sikerült olyan berendezést kifejleszteni, amely napfény segítségével képes a környező levegő páratartalmából hidrogéngázt előállítani. [105] A berendezés napi átlag 250 liter hidrogént termel. A gázt tartályban lehet tárolni, és később hidrogén-cellával villamos árammá alakítani.

Az EU 2005-ben indította el a szén-dioxid kibocsátás mennyiségi korlátozását, és ugyanakkor a szén-dioxid kvóták kereskedelmét, az Európai Parlament és Tanács 2003/87/EK irányelve alapján. Az alapvető cél az volt, hogy anyagi ösztönzést kapcsoljanak a kibocsátás csökkentéshez, a nagy kibocsátókra vonatkozzon első sorban, és az egész EU-ban egységes legyen. 2005-2007 volt a tanulási időszak, 2008-2012 már éles szakasz volt, ma a 2013-2020 közötti harmadik szakaszt éljük, és készülünk a 2020-2030 közötti negyedik kereskedési szakaszra. A kibocsátási kvóta szabályozást nyilván csak a nagyipar tudja kezelni, és itt érhető el a legnagyobb kibocsátás csökkentés is. A kvóta kereskedelem az EU-ban több mint 11 ezer erőművet és gyárat érint. Az EU egyenként meghatározta a korlátozásba bevont cégek évenkénti kibocsátási normáit. A norma túllépés veszélye esetén az érintett cég más kvóta szabályozás alatt álló vállalkozástól kibocsátási kvótát vásárolhat. Ez a vásárlás

nemzetközi is lehet. A kvóta kereskedelem rendszerét ETS rendszernek nevezik. A kibocsátási egység: 1 tonna szén-dioxid.

Minden olyan hidrogén gyártási eljárás, amely szén-dioxid kibocsátással jár, a kvóta szabályozás alá tartozik. A szén-dioxid kvóta árak emelkedése növeli az elektrolízis eljárás előretörésének esélyeit.

## 7. A hidrogén tárolása és szállítása

---

A hidrogén tulajdonságai lényegesen eltérnek az egyéb ipari gázokétól. Az ipari gázok tárolására és szállítására alkalmazott eljárások megfelelő módosításokkal a hidrogén esetében is alkalmazhatók.

A tárolás, a szállítás során a hidrogént tartalmazó tartályokon jól látható, megkülönböztető jelzéseket kell elhelyezni. A jelzések világszerte azonosak.

- Tárolás és szállítás
  - 10-50 liter űrtartalmú (ötvözött) acél palackokban, palack csoportokban, legfeljebb 200 bar nyomáson. A palackokon fehér színjelzés van, a csatlakozás balmenetes.
  - A gépjárművekben a hidrogén tartályt 700 bar névleges nyomáson üzemeltetik. A 700 bar nyomáshoz szükséges komprimálás a hidrogén energia tartalmának kb. 12 %-át fogyasztja. [64]
  - A közúti szállításnál megjelent a folyékony hidrogén szállítás is: hőszigetelt, kriogén tartályban. Mivel a cseppfolyós hidrogént a forráspont hőmérséklete ( $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) alatt kell tartani, ezért különleges acél ötvözetből készülnek a tartályok.
  - 2016-ban a világon több, mint 4500 km hidrogénvezeték üzemelt, első sorban ipari hidrogén termelők és hidrogént felhasználó üzemek között. Az USA hidrogént szállító vezetékének hossza 2600 km volt, Európában: Belgiumban, Németországban, Franciaországban, Hollandiában üzemeltetnek hidrogénszállító vezetékeket. Kazincbarcikán a BorsodChem telephelyén, a Tungsram-nál Budapesten, a Huntsman Zrt-nél Pétfürdőn, növényolaj feldolgozóknál és természetesen az ipari gáz gyártóknál (Linde, Messer, stb.) több kilométer hosszú hidrogénvezeték hálózat üzemel.
  - Tárolják még tartályban: 25, 50 vagy 100 m<sup>3</sup> térfogatú (ötvözött) acél álló- vagy fekvőhengeres tartályokban, 45 bar névleges nyomáson.
  - Tárolják és szállítják is cseppfolyós állapotban: forráspont körüli hőmérsékleten. Hűtőközegként általában neon-hélium keveréket használnak. A cseppfolyós hidrogén energia tartalma kb. háromszorosa, mint az azonos térfogatú benzinné.
- Hidrogén tárolása lehetséges folyékony szerves hidrogénhordozók formájában: a hidrogén megkötése kémiai kötéssel, például toluollal, vagy N-etil-karbazollal.

- Nagy áttörést értek el a hidrogén szállításában az ausztrál kormány tudományos ügynökségének (CSIRO) kutatói. Egy új membrántechnológia használatával képesek a hidrogént először ammóniává, majd ismét hidrogénné alakítani. Az ammónia szállítása sokkal biztonságosabb a hidrogén szállításnál, mivel nem robbanó gázzal van szó. [20]
- Az Accusealed Kft., A BME Gépjárműfejlesztési Tanszéke, az MTA MFA és a VHJ Kft. még 2010-ben jelent meg a hidrogén akkumulátorral. [106] A berendezés vízből elektrolízissel állít elő hidrogént, amit fémhidrides tárolóban helyeznek el. A külsőre a hagyományos akkumulátorhoz hasonló és azonos méretű, 1,4 kg-os tároló egység 130 liter hidrogént tud tárolni. Az egyes blokkok egymás mellett többszörözhetik a tárolt hidrogén mennyiségét.
- Föld alatti hidrogén tárolás  
Hidrogént először 1972-ben sajtoltak be felszín alatti sókavernába a nagy-britanniai Teeside-ban, majd az USA-ban Texasban. [47] Nyugat-Európában a sókavernás és sódómos geológiai képződményekben vizsgálják a hidrogén tárolást. Leművelt földgáz tárolók is alkalmasak lehetnek hidrogén tárolásra, de itt számolni kell a tárolóban maradt szénhidrogének szennyező hatásával. A földgázt tartalmazó föld alatti tárolókban ugyanakkor a tárolóban lévő baktériumok közreműködésével metanizációs folyamatok indulhatnak be, amely a hidrogén és a párnagázban lévő szén-dioxid reakciójából metán keletkezését jelenti. [47]

Tárolhatják a hidrogént hidrides vegyületként is. [22] [63] Több fémötvözet, például a magnézium-nikkel ötvözet képes nagy mennyiségű hidrogént felvenni és hidridek képződése révén tárolni. Ha a hidrogénre szükség van, a hidridek kevés melegítés hatására a hidrogént gáz halmazállapotban leadják. A hidrogént hidridekből generáló üzemanyag tartályokat kísérleti járművekben már az 1980-as évek elején tesztelték. A hidrogén fém-hidrides tárolásának előnyei:

- nincs szükség nagy nyomásra vagy alacsony hőmérsékletre,
- a fémötvözetek hidrogén felvevő képessége nagy,
- enyhe melegítés hatására a fém-hidrid a hidrogént lassan bocsátja ki.

A hidrogén komprimálásához is energiára van szükség. A hidrogén cseppfolyósításhoz szükséges energia a cseppfolyósított mennyiség energia tartalmának kb. 35 %-a.

A nagynyomású és a kriogén tartályok ára 600-800 USD, a tárolt gáz minden kilogrammjára vonatkoztatva.



A hidrogén vezetékek és szerelvények létesítésének költsége kb. kétszerese a földgáz vezetékekének. [27]

#### *A hidrogén cseppfolyósítása [11]*

A gázok cseppfolyósításának alapjait Faraday még 1823-ban rakta le: a cseppfolyósításhoz a gázt komprimálni és hűteni kell. 1887 az az év, amikor Cailletet és R. Pictet sikerrel cseppfolyósított oxigént, nitrogént, szén-dioxidot és hidrogént. Ma a gázok cseppfolyósítása általánosan elterjedt ipari folyamat. [66]

A hidrogén cseppfolyósítása lényegében azonos eljárást jelent, mint a legtöbb gáz cseppfolyósítása. A lényeges eltérést az adja, hogy a hidrogén forráspontja (1 bar nyomáson)  $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , az ipari gázok között a legalacsonyabb.

James Dewar kísérlete arra irányult, hogy a hidrogént cseppfolyós állapotban lehet tartani  $-252,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál magasabb hőmérsékleten is, ha a gőz-folyadék nyomása magasabb. Dewar  $-205\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, és 180 bar nyomáson stabil folyékony hidrogént állított elő. [66]

A cseppfolyósításnál a Joule-Thomson expanziós folyamatot alkalmazzák. A cseppfolyósítási folyamatnál ügyelni kell az inverziós hőmérsékletre, amely alatt egy állandó entalpiával expandáló gáznál hőmérséklet csökkenés jelentkezik és ennél magasabb hőmérsékleten a közeg hőmérséklete nő. Ez a jelenség a Joule-Thomson hatás. A hidrogén melegszik, ha szoba hőmérsékleten állandó entalpiával expandál. A hidrogén a maximális inverziós hőmérséklete  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$ , így fojtással lehűtéshez a hidrogén hőmérsékletének az inverziós hőmérséklet alatt kell lenni. A hidrogén előhűtését általában folyékony nitrogénnel végzik. A hidrogén forráspontja a legalacsonyabb a légköri gázok közül, ezért a cseppfolyósítási eljárás lehetőséget ad a nagy tisztaságú hidrogén előállítására is, mert a légköri gázok a hidrogén forráspontján már akár szilárd halmazállapotúak is lehetnek.

A hidrogén cseppfolyósítása erősen energia igényes: kb.  $12\text{ kWh/kg H}_2$ , vagyis a hidrogén energia tartalmának kb. 35 %-a. [64]

A cseppfolyós hidrogén alacsony nyomáson (0,5 MPa) tárolható kriogén tartályokban.

$1\text{ m}^3$  cseppfolyós hidrogénből  $847,6\text{ m}^3$  normál állapotú gáz lesz. A különböző átszámítási arányokat a 10. táblázat mutatja.

**10. táblázat**  
**Átszámítási tényezők hidrogénhez**

Hidrogén	m <sup>3</sup> (gáz, 15 °C, 1 bar)	liter (folyadék, 1,013 bar)	kg
m <sup>3</sup>	1	1,19	0,08
liter	0,84	1	0,07
kg	11,89	14,13	1

## 8. Hidrogén az iparban

---

A hidrogént megújuló energiahordozónak tekinthetjük, mert: [8]

- a világ vízkészletei körforgásának egyik eleme,
- használata a környezetet nem szennyezi.

Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a hidrogén előállításának leggyakoribb eljárása (a szénhidrogének gőzreformálása) a légkörbe káros anyagokat bocsát ki.

A hidrogén legnagyobb alkalmazási területe a szénhidrogének feldolgozása és az ammónia termelés. A petrokémiai üzemek legfontosabb hidrogén fogyasztó folyamatai a hidro-dealkilezés, a hidro-deszulfurizáció és a hidro-krakkolás. Ma már az üzemanyag gyártás eljárásaiban eltűnnek a fűtőolajok (hidro-krakkolással rövid szénláncú vegyületekre bontják) és az üzemanyagok kéntartalma is közel nulla (a hidro-deszulfurizáció eredményeként).

Az élelmiszeriparban sok hidrogént használnak a telítetlen olajok, zsírok telítettségének növelésére, valamint a metanol előállítására.

A fémek megmunkálásánál a különleges hegesztési eljárásokban a hidrogén szerepe nagyon jelentős. A magas hőmérséklet (2000 °C) eléréséhez általában hidrogént használnak. A hidrogén számtalan eljárásban védőgázként szerepel, a redukív hatásának kihasználásaként.

A hidrogén engedélyezett élelmiszer adalék (E949), lehetővé teszi az élelmiszer csomagolás szivárgásmentességének ellenőrzését, és antioxidáns hatásával az élelmiszer tartóssága növelhető.

Hidrogénből és oxigénből gyártják a közismert vegyszert, a hidrogén-peroxidot ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), melyet széles körben használnak:

- színtelenítő- és fehérítőszer a papír, textil iparban, és a kozmetikumok gyártásánál,
- ipari és laboratóriumi oxidálószer,
- fertőtlenítő- és szagtalanító szer,
- a vízmentes hidrogén-peroxid lökhajtásos repülőgépek, rakéták hajtóanyaga.

A világ hidrogén-peroxid felhasználása 2020-ban 4,5 millió tonna körül várható.

Magyarországon az ipari léptékű hidrogén termelés vállalkozásainak kapacitása elegendő a hazai hidrogén szükséglet kielégítésére. A termelők készek az igények növekedési ütemének megfelelően bővíteni a gyártási kapacitást.

## 8.1. Vegyipari alkalmazások

---

Szervetlen vegyületek gyártása: a hidrogén a sósavgáz, az ammónia, a hidrogén-cianid és még több vegyület gyártásának alapanyaga.

Szerves vegyipari alkalmazások: metanol, formaledhid, kenőanyagok gyártása.

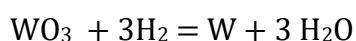
Évente a világon mintegy 3 millió tonna hidrogén-peroxidot ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) használnak: oxidálószerként, esetenként redukálószerként. Gyártásához hidrogént használnak: antrahidrokinont oxigénnel reagáltatnak. A reakció közben keletkező antrakinont katalizátor jelenlétében hidrogénnel visszaalakítják antahidrokinonná. [29]

## 8.2. Fémek megmunkálása

---

### *Fémek előállítása*

Ipari redukálószer, például nagy tisztaságú volfram előállítására használják:



1500 °C feletti megmunkálási hőmérséklethez atomos, aktív hidrogént használnak. Volfram elektródok között húzott villamos íven a  $\text{H}_2$ -t átfúvatva atomos hidrogén keletkezik. Ezt az atomos hidrogén gázáramot fém felületre irányítva rekombinálódás megy végbe, és a reakcióhőt átveszi a fém. Ezzel az eljárással 4000 °C hőmérséklet is elérhető. Az eljárásban a hidrogén nem energiahordozóként vesz részt, ezért nagy fémtisztaság érhető el.

### *Hegesztés*

A hegesztéseknél a hidrogén általában más gázok kísérőgáza. Energetikai szerepe mellett igénybe veszik az erős redukáló hatását is. [14]

WIG hegesztés: wolfram + inert gáz hegesztés (angolul: TIG). A hidrogén tartalmú hegesztő gázokat mutatja a 11. és a 12. táblázat.

**11. táblázat**  
**Hidrogén tartalmú gázok WIG hegesztéshez**

Gáz elnevezése	Gázcsoport	Fő komponens	Hidrogén tartalom (%)
Inoxline H2	R1	argon	2,0
Inoxline H5	R1	argon	5,0
Inoxline H7	R1	argon	7,5
Inoxline He3 H1	R1	argon	0,8
Inoxline He15 H2 N1	Z	argon	2,0

**12. táblázat**  
**MSZ EN ISO 14175 szabvány szerinti hegesztőgázok**

Csoportjel	Fő komponens	Hidrogén tartalom (%)
M 1 1	argon	0,5-5,0
R 1	argon	0,5-15,0
R 2	argon	15,0-50,0
N 4	argon	0,5-10,0
N 5	argon	0,5-50,0

MIG hegesztés: metal + inert gáz hegesztés.

*Gázkeverék MIG hegesztéshez:*

Inoxline He15 H2 N1 jelű gáz, 2 % hidrogén tartalommal. Nikkel bázisú ötvözetek hegesztésére.

MAG hegesztés: metal + aktív gáz hegesztés.

Hegesztés erősen ötvözött acéloknál, aktív gázos fogyóelektródás ívhegesztés.

*Gázkeverék MAG hegesztéshez:*

Inoxline He30 H2 C jelű gáz, 2 % hidrogén tartalommal. Nikkel bázisú ötvözetek hegesztésére.

*Plazmavágás*

A plazmavágás előnye, hogy a kémiai reakciókkal járó lángvágással ellentétben a vágás sikere nem függ a vágandó anyagtól. A plazmavágással a korrózióálló acélok, öntöttvasak, réz, alumínium és ötvözeik termikus vágása is lehetséges. Vágás közben az anyag megolvad, részben elpárolog, részben a plazmasugár nagy kinetikai

energiája kisodorja a résből. A plazma kb. 20 000 Celsius fok hőmérséklet körül működik. A plazma nem lép reakcióba a vágandó anyaggal, ezért nemcsak fémek vágására használható.

A plazmavágás 0,5-150,0 mm vastagságú anyagok vágására alkalmas. A vágófejek kialakítása többféle, általában levegő- vagy vízhűtéses kialakításúak.

Az alkalmazott vágó gáz legtöbbször az argon-hidrogén keverék. [76]

### **8.3. Rakéta hajtóanyag**

---

A folyékony hidrogén és az oxigén hatékony rakéta hajtóanyagok. Jelen anyagnak nem képezi tárgyát a téma kifejtése.

### **8.4. Félvezetőipar**

---

A hidrogént felhasználják az amorf szilícium és az amorf szén szabad kötéseinek telítésére, így stabilizálva az anyagi tulajdonságokat. Emellett különböző oxidokban potenciális elektrondonor. [8]

### **8.5. Üvegipar**

---

Az úsztatott síküveg gyártásnál a folyékony horganyfürdőt nitrogén-hidrogén gázelegy védi az üveg koptató hatásától.

### **8.6. Gyógyszer hatóanyag, orvosi kutatások**

---

A molekuláris hidrogén ( $H_2$ ) az ember egészségét elősegítő hatását már elég régen ismerik a gyógyszer-kutatók. A hidrogén fokozza az ember antioxidáns védelmi rendszerét és közvetlenül ártalmatlanítja a káros szabad gyököket.

Ohsawa japán kutató 2007-ben számolt ne a sikeres kutatásáról: a hidrogén könnyen jut át a vér-agy gáton gáznemű diffúzióval, ígéretes közvetítő lehet a koponyán belüli neutronok megvédésére. Nagata és munkatársai kimutatták, hogy a hidrogénes víz fogyasztása megakadályozza a stressz okozta tanulási és memória zavarokat. Kimutatták, hogy a hidrogén hatékony az idegrendszeri degeneratív betegségek

esetén is. A hidrogén tartalmú víz hasznos lehet a mindennapi életben, hogy megakadályozza és minimalizálja az életmóddal összefüggő oxidatív stresszt és az agysejt pusztulást.

A hidrogén képes lehet megakadályozni a Parkinson kór kialakulását és kifejlődését.

Li és munkatársai kimutatták, hogy két hétig a hidrogénben gazdag fiziológiás sóoldat injekciót beadva javította a betegek kognitív és memória funkcióit. [115]

## 9. Hidrogén az energetikában

---

A tüzelőanyag-cellát Sir William Robert Grove találta fel, 1838-ban.

A tüzelőanyag cellák elektrokémiai elven működő áramforrások, amelyek egy lépésben képesek a hidrogénben tárolt kémiai energiát elektromos energiává alakítani, miközben járulékos hő is keletkezik. A tüzelőanyag cellák a Galván-elemek csoportjába tartoznak. A hagyományos szárazelemekkel vagy a sokszor feltölthető akkumulátorokkal szemben a tüzelőanyag cella folyamatos üzemű Galván-elem, ami azt jelenti, hogy egy hidrogén tüzelőanyag cella addig képes folyamatosan villamos energiát szolgáltatni, amíg a kiindulási anyagokat (hidrogént és oxigént) betáplálják. [75]

Az elektrokémiai áramforrások működésének a lényege az, hogy kémiai reakció szabad entalpia változását alakítják át munkává. Ez úgy történik, hogy az anódon (negatív elektródon) oxidáció (elektron leadás), a katódon pedig redukció (elektron felvétel) játszódik le. Az elektronok a két elektródot összekötő fémes vezetőkön jutnak el az anódtól a katódig. Villamos fogyasztó beiktatásával az elektronokkal munkát lehet végezni. A tüzelőanyag cellák a lezajló reakció Gibbs-féle szabad entalpia változása határozza meg a hatásfok értékét, szemben a hőerőgépekkel, ahol a Carnot hatásfok korlátozza a berendezés hatásfokának értékét.

Elsőként az űrkutatásban és a haditechnikában használták energia forrásként. Napjainkban a közlekedésben, mindenek előtt a gépjármű hajtásban nyer teret az alkalmazása. [90]

A tüzelőanyag-cellák előnyei:

- áramot tárolhatunk vele és az áramot vissza is nyerhetjük,
- az áramtermelés során a szénhidrogén vagy metanol tüzelőanyagból keletkező szén-dioxidot be lehet fogni, és hasznosítható,
- korlátlan ideig üzemeltethető.

Hátrányok:

- a gyors villamos áram igény változást nem tudja követni,
- ma még drága a tüzelőanyag-cella.



## 9.1. Villamos áram termelés hidrogénnel

Az EU „Tiszta energia programja” és a „Zöld Megállapodás a karbonmentesítés eléréséhez” erőteljes villamosítást irányoz elő 2050-ig a gazdaság minden területén. [86] Az energia ellátásban a villamos áram hányadát mutatja be a 13. táblázat.

**13. táblázat**  
*A villamos áram aránya az energiaellátásban (%)*

	2015	2050 1. változat	2050 2. változat	2050 3. változat
Teljes gazdaság	22	38	48	60
Szállítás	1	29	43	63
Épületek	34	45	54	63
Ipar	33	38	44	50

A változatokhoz eltérő feltétel rendszereket és pénzszükségletet jelöltek meg. Az erőteljes villamosítás része a fosszilis energiahordozók fokozatos kiszorítása az áram termelésből.

A környezetvédelmi törekvések részeként a villamos áram termelés módjai között a megújuló energiahordozók használata kap elsőbbséget. A nap- és szélenergia fokozott hasznosítása magával vonja a villamos energia tárolás nagymértékű megoldását is. A villamos energia tárolás módszereit és adottságait mutatja be a 14. táblázat. [85]

**14. táblázat**  
*A villamos energia tárolás módszerei*

Közeg	Kisütési idő	Tároló kapacitás
Akkumulátor	0,5 óra – 12 óra	10 kWh - 10 MWh
Sűrített levegő	1 - 30 nap	5 MWh - 1 GWh
Szivattyús tároló	1 - 30 nap	100 MWh - 10 GWh
Hidrogén	1 óra - 1 hónap	1 GWh - 1 TWh
Földgáz	1 óra - 1 év	50 GWh - 5 TWh

Az EU a hidrogén- és tüzelőanyag cellák fejlesztésének, használatának stratégiáját több fokozatban dolgozta ki. [16] A stratégia a következő szakaszokat állapítja meg:

- 2006-2010 évek: demonstrációs időszak, első alkalmazások valós körülmények között,
- 2009-2012 évek: széleskörű demonstrációs időszak, az ipar első érdeklődése a technológia iránt,
- 2010-2015 évek: kereskedelmi léptékű FC felhasználások, tömeggyártás feltételeinek kialakítása,
- 2015-től: piaci növekedés, egyre szélesebb körű alkalmazás.

A fejlesztési programot az EU jelentős pénzforrásokkal is támogatta. Megalakultak a tüzelőanyag-cella fejlesztésben, -gyártásban, -alkalmazásban érdekelt társaságok szövetségei is. Az Európai Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Platform célkitűzése, hogy a tüzelőanyag cellák kapacitása 2025-re elérje a százezer megawattot.

A hidrogén felhasználása az ipari léptékű villamos energia termelésben még alapvetően a kísérletek fázisában van. Azok az országok, amelyek jelentős vízen energiával rendelkeznek, hamar felismerték, hogy a vízerőművek gyors indítása és leállása kiváló lehetőség a nap és szélenergia hasznosítás ciklusainak kiegyenlítésére. Más országokban gyors indítású, szénhidrogén tüzelésű erőműveket kell állandó, meleg, forgó tartalékban tartani a megújuló kiesésének ellensúlyozására, vagy importálni kell az áramot.

A kiegyenlítő villamos áram termelés új formája a hidrogén-üzemanyag cella használata. [3] [4]

A hidrogén tüzelőanyag cellák jellemzője a magas hatásfok, és a gyakorlatilag nulla károsanyag kibocsátás:

- A hidrogén üzemanyag cella alkalmas különböző teljesítményű villamos áram igény folyamatos kielégítésére, különösen a villamos hálózattól távoli felhasználási helyeken. Az üzemanyag cella lehet gazdaságosabb, mint a robbanómotoros áramfejlesztés;
- A szél- és napenergia termelés szezonálisának kiegyenlítő energiahordozója lehet: áram túltermelés esetén hidrogént lehet termelni, majd áram hiány esetén a hidrogénből áramot termelhetnek;
- A hidrogén részben, vagy teljes mértékben gépjármű hajtóanyagot válthat ki;
- A földgázhoz keverve szénhidrogént helyettesíthet;
- Csökkenti az ólom felhasználást.

## *A hidrogén tüzelőanyag-cella*

A hidrogén-cella történetének néhány állomása:

Sir William Grove angol fizikus már a 19. században több kísérletet végzett az elektrolízissel kapcsolatban. 1839-ben kísérletezés közben ismerte fel, hogy az elektrolízis reverzibilis folyamat. Két elektródát alkalmazva, egyikre hidrogén tartalmú oldatot, másikkra oxigén tartalmú oldatot vezetett és az elektródák között fellépő feszültséget mérte. [62]

1932-ben Francis Bacon alkáli elektrolitos nikkel-elektrodás cellát mutatott be. Az 50-es években a General Electric cégnél felfedezte a protoncsere membrános üzemanyag cellát.

2007-ben megjelentek azok az üzemanyag-cellák, melyek szünetmentes áramforrásként működnek kereskedelmi eszközökben.

Oláh György Nobel díjas professzor Kaliforniában, a Loker Hydrocarbon Research Institut-ban metanolos üzemanyag-cellák fejlesztésével is foglalkozott.

*Tüzelőanyag-celláknak azokat az elektrokémiai eszközöket nevezzük, amelyekben a tüzelőanyag kémiai energiája közvetlenül elektromos energiává alakul, miközben hő is fejlődik.*

A Ballard cég forgalomba hozott 100 wattos hordozható üzemanyag cellát, hordozható háztartási készülékek áram ellátására. Az üzemanyag cella mérete 150x80x220 mm. [62]

A Fraunhofer Intézet mikro-üzemanyag cellája olyan méretű, hogy laptopokba, notebook-okba beépíthető. [62]

Gyártanak mobiltelefonok működtetéséhez DMFC cellát is. [62]

A hidrogén tüzelőanyag cella energetikai hatásfoka 60 % körül van.

A tüzelőanyag cellák típusai: [75] [87]

- **AFC (Alkaline Fuel Cell):**

Azbeszt szeparátoros alkálikus hidrogén-oxigén tüzelőanyag cella. Az elektrolit kálium-hidroxid. A cella olcsó, de különösen érzékeny a széndioxidra, emiatt csak igen tiszta gázokkal lehet üzemeltetni. Napjainkban már nem használják. Teljesítménye: 10-100 kW.

- **PEMFC** (Proton Exchange Membrane Fuel Cell):  
A cella lényege az 1 mm-nél vékonyabb hidratált protoncserélő membrán, ami csak a hidrogén-ionokat engedi át. A membrán mindkét oldalát porózus katalizátorral, általában platínával vonják be. A hidrogént és az oxigént a membrán két ellentétes oldalán vezetik a cellába. A hidrogénből keletkező hidrogén-ionok áthaladva a membránon, annak másik oldalán az oxigénredukció termékével, a hidroxid ionokkal vízzé egyesülnek. A cella alkalmas többszöri és gyors ki- bekapcsolásra, alkalmas teljesítményingadozás mellett is. Nagy a teljesítménysűrűsége. Érzékeny a platina katalizátor a gázok szennyezésére, ezért nagyon tiszta hidrogénnel működik csak. Van alacsony (50-90 °C) és magas hőmérsékletű (120-180 °C) változata is: a magas hőmérsékletű a hidrogén szennyezést jobban bírja. A cella tömeggyártása ma már megoldott, a sorozatban gyártott terméke (autók, elektronikai eszközök) szinte kizárólagos áram forrása. Teljesítménye: 1 W - 500 kW.
- **DMFC** (Direct Methanol Fuel Cell):  
Direkt metanol tüzelőanyag cella. A PEM típusú cellák egyik változata. Polimer membrán van benne, a PEMFC cellákkal azonos hőmérsékleten üzemel. Üzemanyaga metanol híg oldata. A metanol könnyen kezelhető és nagy az energia sűrűsége. Hatásfoka alacsony (10-20 %) és csak néhány kW a legnagyobb teljesítménye. Első sorban villamos hálózattól távoli helyeken alkalmazzák. Teljesítménye: 100 mW - 1 kW.
- **PAFC** (Phosphoric Acid Fuel Cell):  
Foszforsavas tüzelőanyag-cella. Kb. 160-220 °C hőmérséklet tartományban működik, vannak MW teljesítményű példányai is. Teljesítménysűrűségük, dinamikus terhelésváltási készségük alacsony. A kémiaiag agresszív elektrolit miatt a cella inkább beépített változatban terjedt el. Maximális teljesítménye: 10 MW.
- **MCFC** (Molten Carbonate Fuel Cell):  
Olvadék karbonátos tüzelőanyag-cella. Magas hőmérsékleten (600-700 °C) működik, elektrolitja karbonát olvadék. Nem alkalmas gyakori és jelentős terhelés változásra, telepített, zsinór termelésre kiváló. Az elektrolit  $K_2CO_3$  és  $Li_2CO_3$  olvadékkal impregnált kerámia hordozó. Magas hatásfokkal (55-60 %) üzemel. A katalizátor viszonylag olcsó nikkel vagy nikkel-oxid. Nem érzékeny a bevitt hidrogén, metanol, vagy más gázok tisztaságára. A károsanyag kibocsátása alacsony, még szénhidrogén input esetén is. Maximális teljesítménye: 100 MW.

- **SOFC** (Solid Oxide Fuel Cell): Szilárd cirkónium-, ittrium-oxidos kerámia tüzelőanyag-cella. Magas hőmérsékleten üzemel (500-900 °C), az elektrolit szilárd, porózus kerámia, például ittriummal stabilizált cirkónium-dioxid. Lassú teljesítmény változásra képes, hosszú a beüzemelés időigénye. Magas hatásfokkal működik. Telepített áramforrásként használják. Kevésbé érzékeny a bevitt anyag tisztaságára. A teljesítmény választéka széles. Maximális teljesítménye: 100 MW.
- Kísérletek folynak még **DEFC** (Direct Ethanol Fuel Cell) és hangyasavas tüzelőanyag cellákkal (**DFAFC**) is.

A tüzelőanyag cellák típusainak összefoglalását mutatja a 15. táblázat.

**15. táblázat**  
*A tüzelőanyag cellák típusainak összefoglaló táblázata [62] [87]*

Típus	Elektrolit	Üzemi hőmérséklet (°C)	Elektromos hatásfok (%)	Üzemanyag	Felhasználási terület
<b>AFC</b> alkáli elektrolitos	30-45% kálium-hidroxid gél	60-90	Elméleti: 70 Gyakorlati: 62	hidrogén oxigén	járműipar hadiipar
<b>PEMFC</b> membrános cella	Protonáteresztő membrán	70-220	Elméleti: 68 Gyakorlati: 50	hidrogén oxigén levegő	járműipar hadiipar erőművek
<b>DMFC</b> direkt metanol membrán	Protonáteresztő membrán	80-130	Elméleti: 30 Gyakorlati: 25	metanol oxigén levegő	elektronikai eszközök
<b>PAFC</b> foszforsavas cella	Tömény foszforsav	150-220	Elméleti: 65 Gyakorlati: 60	hidrogén- oxigén levegő	erőművek
<b>MCFC</b> alkáli karbonát-só cella	Lítium-karbonát kálium-karbonát	650	Elméleti: 65 Gyakorlati: 62	hidrogén földgáz biogáz levegő	erőművek
<b>SOFC</b> oxidkerámiás cella	Ittrium-cirkon oxidkerámia	600-1000	Elméleti: 65 Gyakorlati: 62	hidrogén földgáz levegő	erőművek

#### *A tüzelőanyag-cellák gyártása [87]*

A tüzelőanyag-cellákat legalább 50 cég gyártja szerte a világon, teljesen automatizált üzemekben. A termelés magában foglalja a különböző lemez- és fóliaegységek

előzetes elkészítését, az egyes elemek összeillesztését és a kész cellák végső bevizsgálását. A gyártás lépései egy PEMFC cellatelep esetén:

- bipolar lemezek előkészítése,
- tömítőegység felvitele és hőkezelése,
- elektrolitot, katalizátort és elektródákat tartalmazó protonáteresztő membrán fólia felvitele,
- cellák létrehozása,
- cellák rögzítése a bipolar lemezekhez,
- cellatelep összeállítása,
- tömörségvizsgálat és teljesítmény teszt.

Évente mintegy 500 ezer PEMFC cellatelepet állítanak elő. A gyártási költség 10-50 USD/darab között van. A fejlesztések célja: 2020-ra a gyártási költség 40 USD/kW. Ha a hidrogén cellák gyártási költsége 30 USD/kW szint alá csökken, akkor versenyképes lesz a hagyományos áramtermelés-tárolás módszereivel.

#### *A tüzelőanyag cellák értékesítése [75]*

Az értékesített tüzelőanyag cellák számát és alkalmazási területét mutatja a 16. a 17. és a 18. táblázat.

**16. táblázat**  
***Az értékesített tüzelőanyag cellák száma régióként (ezer darab)***

	2014	2015	2016	2017	2018
Európa	4	8	3	3	8
Észak-Amerika	18	8	10	12	12
Ázsia	40	43	52	54	53
Egyéb térség	2	1	1	1	1
<b>Összesen</b>	<b>64</b>	<b>60</b>	<b>66</b>	<b>70</b>	<b>74</b>

**17. táblázat**  
***Az értékesített tüzelőanyag cellák száma alkalmazási területenként (ezer darab)***

	2014	2015	2016	2017	2018
Hordozható	20	8	4	4	6
Telepített	40	46	54	56	56
Szállító eszközben	4	6	8	10	12
<b>Összesen</b>	<b>64</b>	<b>60</b>	<b>66</b>	<b>70</b>	<b>74</b>

**18. táblázat**  
***Az értékesített tüzelőanyag cellák teljesítménye alkalmazási területenként (MW)***

	2014	2015	2016	2017	2018
Hordozható	10	10	11	12	15
Telepített	170	200	210	220	230
Szállító eszközben	20	100	309	408	545
<b>Összesen</b>	<b>200</b>	<b>310</b>	<b>530</b>	<b>640</b>	<b>790</b>

A hidrogén cellákat általában kötegekben alkalmazzák, mert egy cella feszültség szintje kicsi. Az elektronok elektromos áramot keltenek, ami a cellából kivezetve 0,6-0,8 V feszültséget jelent. A cellák felületén 2 A/cm<sup>2</sup> áramsűrűség is elérhető. A cellák élettartama 2 ezer és 20 ezer óra között van, a felhasználás jellegétől függően. [41]

A hidrogén-üzemanyag cella előnyei:

- nincs mozgó alkatrész,
- kis tömeg és geometriai méret,
- zajtalan, folyamatos üzem,
- a hidrogén környezetkímélő energiahordozó,
- korlátlanul tárolható a hidrogén,
- a hidrogén felhasználása áram termelésre egyszerű és biztonságos,
- a hidrogén cella hűtésére használt víz fűtésre, használati meleg vízként hasznosítható,
- a hidrogén a kereskedelemben kapható,
- a reakció végén a hidrogén vízzé alakul,
- hatásfoka magasabb, mint a belső égésű motoroké.

Hátrányok:

- teljesítménysűrűsége kisebb a szénhidrogén hajtású motorokhoz képest,
- új üzembiztonsági rendszerek tartoznak a hidrogén használathoz,
- a tüzelőanyag-cella hatásfoka 50-60 %, ami alacsonyabb, mint a nettó villamos hajtás hatásfoka,
- ma még drága a hidrogén-cella,
- gyors áramigény változást nem tud követni.

### *Hidrogén-cella fejlesztési, alkalmazási eredmények*

Egy ipari hidrogén-cella jellemzői: [9]

- Teljesítmény: 60 kW
- Kiadott feszültség: 300-640 V
- Súly: 275 kg
- Méret: 800x375x980 mm
- Oxidálószer: levegő
- Hűtés: víz, 45-70 °C
- Hidrogén nyomása: 515-790 kPa

### *Energia önellátás – Gemenc, vadászház*

Az E.ON 2015-ben üzemelte be Gemencen azt az önellátó energia konténert, amely a közeli vadászház teljes energia ellátását biztosítja. A konténer:

- mobil rendszerű, nem csatlakozik villamos hálózathoz,
- teljesen automatikus,
- évi 4000-5000 kWh energiát termel,
- 32 napelem panel 6,4 kW teljesítménnyel üzemel,
- akkumulátor telepe 48 V-os, 870 Ah kapacitású, a termelés-felhasználás kiegyenlítésére,
- 16 darab 40 literes hidrogén palack, 150 bar nyomáson hidrogént tartalmaz,
- a hidrogén kompresszor villamos hajtású,
- a hidrogén cella 0,5 kW teljesítményű,
- a hidrogént áram felesleg idején termelik.

### *Szél-hidrogén hibrid áramtermelés*

A kanadai Hydrogen Engine Center fejlesztette ki a szél-hidrogén hibrid áramtermelő berendezést. Szeles időszakban a szélgenerátorral termelt áramot hidrogén termelésre használják, szélcsendes időszakban pedig hidrogén-cellával termelnek áramot. [64]

### *Solar-to-hydrogen tető panel*

2020. februárban mutatták be azt a hagyományos tetőfedő cserép méretű tető panelt, amely a napenergiával termel elektrolízissel hidrogént és oxigént. A panelbe vizet vezetnek, amely napsütés esetén a vízbontást „elvégzi” és el lehet vezetni a panelből a keletkezett hidrogént és oxigént. [67]



### *Hidrogén-cella nagyüzemi gyártása*

A Faurecia és a Michelin közös vállalatot hozott létre, a Symbio céget, a világ hidrogén-cella piaca meghatározó részének megszerzésére. [78] Terveik szerint 2030-ra évi 200 ezer, gépkocsikban használt hidrogén-cellát és hidrogén ellátó rendszert gyártanak. A termék a hidrogén-cella, akkumulátor rendszer optimális együttműködését célozza meg.

### *Nagyüzemi, környezetbarát hidrogén termelés*

A Toshiba, az Iwatani és a Tohoku vállalatok közös projektet hoztak létre, FH2R Fukushima Hydrogen Energy Research Field névvel. [78] A 18 hektáros telepen 20 MW kapacitású naperőmű működik. A napelemekkel termelt villamos energia felét elektrolízisre használják. A termelt hidrogént és oxigént sűrítik, tartályokba töltik és értékesítik. Az üzem csúcsidőben óránként 1200 Nm<sup>3</sup> hidrogént termel.

## **9.2. Hidrogén keverése a földgázhoz**

---

A hidrogén és a metán fizikai és tüzeléstechnikai jellemzői között nagy a különbség. A két gáz jellemzőit mutatja a 19. táblázat.

A két gáz sűrűségének különbsége alapján arra lehet számítani, hogy a nyugalmi állapotban lévő gázkeverékben a sűrűség szerinti rétegződés azonnal megindul, ami a gázkeverék felhasználása esetén lényeges fizikai-tüzeléstechnikai jellemző különbségeket okozhat. Ugyanez a fizikai szétválasztódás a hosszabb tárolás során is kialakulhat, tároló tartályban vagy a föld alatti tárolóban is.

Ma is folynak kísérletek arra, hogy a hidrogént milyen mértékben lehetne a földgázhoz (metánhoz) keverni, hogy a gázellátó rendszer elemeiben ne kelljen átalakítást végezni. A kísérletek eredménye, hogy 5-15 tf% hidrogén bekeverés esetén a gázellátó rendszeren a hidrogén tartalom elváltozást még nem idézett elő. Más kutatások 10 tf%-ban jelölik meg a hidrogén bekeverés felső határát. A sűrített földgázzal (CNG) üzemelő járművek esetében jelenleg még csak 2 tf% hidrogén bekeverést tartanak elfogadhatónak.

Vizsgálatok folynak arról is, hogy a földgázba kevert hidrogén hogyan befolyásolja az eddigi gázellátó rendszer mechanikai jellemzőit. Az eddigi eredmények teljes mértékben pozitívak.

**19. táblázat**  
**A hidrogén és a metán fizikai és tüzeléstechnikai jellemzői**

Tulajdonság	Mértékegység	Hidrogén (H <sub>2</sub> )	Metán (CH <sub>4</sub> )
moláris tömeg	g/mol	2,016	16,043
sűrűség (15 °C-on)	kg/m <sup>3</sup>	0,089	0,718
alsó hőérték	kWh/m <sup>3</sup>	2,84	9,45
felső hőérték	kWh/m <sup>3</sup>	3,36	10,49
lángterjedési sebesség	cm/sec	267	35
felső Wobbe-szám	kWh/m <sup>3</sup>	12,74	14,09
robbanási koncentráció határ (20 °C-on, 1 bar-on, levegőben)	tf%	4,0–80,8	4,4–15,5
elméleti lánghőmérséklet	°C	1527	1222
fajlagos elméleti oxigénszükséglet	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0,499	2,003
keletkező szén-dioxid	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0,001	0,998
forráspont 1 bar-on	°C	-259,1	-161,5
folyadék sűrűsége 1 bar-on	kg/m <sup>3</sup>	70,8	422,0
gáz sűrűsége 1 bar-on	kg/m <sup>3</sup>	0,08	0,65
öngyulladási hőmérséklet 1 bar-on	°C	585	540
relatív sűrűség, 1 bar-on	-	0,070	0,555
kritikus hőmérséklet	°C	-240,2	-118,6
kritikus nyomás	bar	12,70	49,74

A hidrogén képes reakcióba lépni a tároló tartály falával, a csővezetékkel. [7] A fém porladás hidrogén jelenlétében általában 400-700 °C hőmérséklet között fordul elő, szerencsére a gázellátó rendszerben ilyen hőmérséklet nem fordul elő.

Vizsgálatokat végeztek a gáz felhasználói berendezések hidrogén állóságáról is. Néhány előzetes eredmény: [1]

- a háztartási gázkészülékeknél a 10 % alatti hidrogén tartalom nem okoz problémát, a gázégők finom szabályozása szükséges lehet,
- az ipari gázberendezéseknél is a 10 %-on belüli hidrogén tartalmat a berendezések átalakítás nélkül tudják fogadni,
- a gázturbinák és a gázmotorok esetében a berendezések újra szabályozása már 5 % hidrogén tartalomnál szükséges lehet,

- a hagyományos sűrített földgáz (CNG) tartályoknál már 2 % hidrogén tartalomnál szilárdsági problémák jelentkezhetnek.

Megállapították, hogy a földgázba kevert hidrogén miatt a gázellátás rendszerének több pontján módosítások szükségesek: [1]

- a gázkeverék hőértéke és Wobbe-száma megváltozik, a gázkészülékek újra beszüabályozása lehet szükséges,
- a gázpiaci elszámolásoknál a gáz összetételét más kromatográfokkal kell mérni,
- a térfogatáram mérésekhez használt eszközöket (gázmérőket) újra kell hitelesíteni,
- a hidrogén betáplálást az ország szállítóvezeték hálózatának minden csomópontjában biztosítani kell.

A gázellátás rendszerének működésében néhány változást okozhat a hidrogén bekeverés: [1]

- a gázkeverék robbanási koncentráció határai megváltoznak, kisebb gázkoncentráció okozhat már robbanásveszélyt,
- a lángterjedési sebesség nagyobb lesz,
- az eddigi robbanási koncentráció határokhoz kapcsolódó biztonsági berendezéseket módosítani kell,
- a szivárgás érzékelő műszerek metánra vannak hitelesítve, a hidrogén-metán gázkeverékhez más műszerek szükségesek,
- a hidrogén tartalom mellett a gázt szállító, tároló rendszerekben baktérium tenyészetek jelenhetnek meg.

### 9.3. Alkalmazott kutatások

---

MTA Szeged: megfigyelték, hogy a zöldalgák fotoszintézissel hidrogént állítanak elő. [15] Az eddigieknél hatékonyabban lehet hidrogéngázt előállítani zöldalgák segítségével az MTA Szegedi Biológiai Kutatóközpontjában kifejlesztett új módszer segítségével, egyelőre laboratóriumi körülmények között. A kutatásnak már több olyan eredménye van, amelyek együttesen arra utalnak, hogy a jövőben a szabadban, de legalábbis üvegházakban környezetbarát módon lehet majd hidrogént termelni.

Még 2013-ban mutatták be a Glasgow-i Egyetem kutatói a víz elektrolízisének olyan módosítását, amellyel a hidrogént és az oxigént időben elkülönítve állítják elő. Az általuk kidolgozott eljárás lényege, hogy létrehoznak egy „elektroncsatolású átmeneti

protonpuffert”, amely összegyűjti és tárolja a hidrogént, miközben az áram hatására csak az oxigén válik ki a vízből. A hidrogént később, tetszőleges időpontban vonják ki. Ez a technológia hosszabb időt igényel, jóval biztonságosabb az egyszerű elektrolízisnél. Fajlagosan kevesebb energiát fogyaszt, így a víz molekulák megbontásához megújuló forrásból származó energia is használható. [19]

Membrános gáz leválasztási eljárások fejlesztése több kutató intézet feladata. Polimer anyagok, fémek molekula leválasztó szén, zeolitok és kerámiák szerepelnek a hidrogént elkülönítő anyagok között. A fejlesztés a vékony membránok irányába halad, mivel ez a technológia nagyobb hidrogén áramot tesz lehetővé. A kerámia membránok alkalmasak a magas hőmérsékletű gázok szétválasztására, ami fém membránok esetében nem lehetséges a hidrogén-fém diffúzió, és a fém porladása miatt. [11]

2005-ben a Purdue Egyetem (West Lafayette, Indiana állam, USA) kutatói újfajta hidrogén alapú akkumulátort fejlesztettek, hordozható elektromos eszközökhöz. A megfigyelések szerint a hidrogén alapú akkumulátorok több energiát képesek biztosítani, mint a metanolos társaik. Az egyetem kutatói megoldást találtak a hidrogén tárolásának és előállításának problémájára. A vásárlók hitelkártya méretű cartridge formájában jutnak hozzá az új akkumulátorhoz, amelyben megtalálhatók a hidrogént tartalmazó kapszulák és egy processzor is. Az akkumulátor energiaszintjének csökkenésekor a lapkába épített mikroprocesszor megkezdi a hidrogén kapszula elégetését, elindítva ezzel a hidrogén képződést és a feltöltést. Ha az összes kapszula elfogy, a vásárlónak új energia egységet kell venni. [68]

Ausztriában, a Rohöl-Aufsuchungs AG. Pilsbachban kísérletet folytat leművelt földgáz mezőben, földalatti földgáz tárolóban szén-dioxid és hidrogén reakciójára, biológiai úton. [18] A porózus homokkőben párnagázként még földgáz van. A tárolóban természetes körülmények között olyan anaerob baktériumok vannak, amelyek képesek a rétegbe besajtott szén-dioxidot megbontani, és a szintén besajtott hidrogénnel metánt erjeszteni. A ciklusos üzemmódban végzett kísérletek során betáplálják a két gázt a tárolóba, és kb. két hónapra lezárják a tárolót. A két hónap alatt a biológiai metanizáció önszabályozó módon halad. A termelt, „érett” gáz még tartalmaz hidrogént és szén-dioxidot is, ezeket a komponenseket membrán szűrővel tudják leválasztani. A rendszer működéshez a szén-dioxidot a közeli bio-etanol üzemből kapják, a hidrogént pedig elektrolízissel állítják elő. A hidrogén termelő berendezés 500 kW teljesítményű. Az elektrolízishez szükséges villamos energiát napelemekkel és szélgenerátorokkal állítják elő. A termelt metán megújuló gáznak minősül.

A természetes hidrogén képződést a hidrogenáznak nevezett enzim katalizálja. A hidrogenáz enzim egy redox fehérje, az élővilágban előforduló legegyszerűbb molekula. A hidrogenáz enzimet első sorban baktériumokban és algákban találjuk meg. Mivel a hidrogenáz oxidációs-redukációs folyamatokat katalizál, kapcsolatban áll a baktériumokban működő elektrontranszport lánc folyamataival, akár elektron donorként, akár elektron akzeptorként. A hidrogenázok működéséhez általában nikkkel vagy vas molekulákra van szükség. A kutatás feladata a fehérje és a hozzá kötött fémek közötti kölcsönhatás törvényszerűségeinek megismerése. [40]

Mintegy tizenöt éves kutatási eredmény a szén nanostruktúrák használata hidrogén tárolásra. A nagy vákuumban magas hőmérsékleten elektródra gőzölt szénhidrogénekből amorf szén jellegzetes csövecskéket vagy lapocskákat képez. A szén nanocsövek 5-100 nm átmérőjűek és mm hosszúságúak lehetnek. Az előállítás módjától függően a csövek fala vagy egyetlen rétegből, vagy több molekula rétegből áll. Az egyetlen molekularétegből álló nanocsöveket lézerpárologtatási technikával lehet előállítani. A nanocsövekben a rendezett szénatomok rétegei közé kötődik be a hidrogén, mégpedig igen jó hatásfokkal. A megfigyelések szerint akár 50 tf% gravimetrikus sűrűséget is el lehet érni szobahőmérsékleten és magas nyomáson. Jelenleg a nanocsövek gyártásának technológiája fejlesztése folyik. [40]

A P2H (Power-to-Hydrogen) és a P2M (Power-to-Methane) eljárások három formája versenyez egymással az ipari megvalósítás terén. Az alkáli elektrolízis, a PEM (polimer elektrolit membrános) elektrolízis mellett új kutatási terület a magas hőmérsékletű (vagy szilárd oxid) elektrolízis. [49] Az első két eljárás már ipari léptékben is alkalmazható, a harmadik eljárás még kutatási terület.

Power-to-Gas (P2G) alapú kutatások és fejlesztések indultak el Magyarországon is. [48] A magyar kutatások a kémiai energiatárolás új formájának kifejlesztésére irányulnak, amelyben a fel nem használt villamos energiát üzemanyaggá, metánná alakítják. Az eljárás szokásos jelölése: P2F (Power-to-Fuel) vagy P2M (Power-to-Methane). Ennek az átalakításnak két útja ismert: egy tisztán kémiai, amely magas nyomáson és hőmérsékleten működik, valamint egy mikrobiológiai, ahol a nyomás és a hőmérséklet is jóval alacsonyabb. A magyar kutatók szerint a mikrobiológiai metanizáció hasznosításának van nagyobb esélye. A folyamat első lépése mindkét esetben a víz bontása elektrolízissel, ahol oxigént és hidrogént kapunk. Ez a hidrogén az eljárás alapanyaga. Az eljárás lényege: a hidrogénből és szén-dioxidból metánt állítanak elő. Gyakori kritika a P2G-P2M technológiákkal szemben, hogy energia tárolásra kisebb a hatásfokuk, mint a hagyományos akkumulátoros eljárásoknak. Ez a megállapítás rövid távú energia tárolás esetén helytálló, de hosszabb távú tárolás esetén már a metán/hidrogén tárolás előnyösebb, mert akár évekig tárolható

veszteség nélkül. A magyar fejlesztések egyik eredménye az, hogy a P2G technika néhány percen belül indítható vagy leállítható. A magyar kutatások másik iránya az adszorpciós elvű gáztárolás szilárd hordozókban. Ebben a technológiában a nagy látszólagos felületű pórusos anyagok töltik be a tároló szerepét. Legbiztosabbak a fémorganikus fémhálók, az úgynevezett MOF-ok (Metal Organic Framework). Ez a szivacszerű pórusos anyagcsalád észszerű technológiai körülmények között, a nagynyomású gáztároláshoz szükségesnél alacsonyabb nyomáson, és a cseppfolyósított megoldásnál magasabb, légköri hőmérsékleten nyeli el a metánt, majd nyomáscsökkentés és melegítés hatására a felhasználáskor gáz halmazállapotban leadja.

A norvégiai Utsira szigetén a lakosok teljes energia igényét kielégíti két 600 kW-os szélérőmű. A rendszerben jelentkező többlet villamos energia segítségével vízbontással hidrogént állítanak elő, amelyet egy 2400 m<sup>3</sup>-es tárolóban gyűjtenek. Kevésbé szeles időben a tárolt hidrogénnel egy hidrogénmotort és hidrogén-cellákat üzemeltetnek. [70]

A Shell Hollandia, a holland Gasunie és a groningeni kikötő 2020. februárban indította el a NorthH2 projektet. A terv szerint és Északi-Tengeren 3-4 GW teljesítményű szélérőműveket építenek, amelynek a termelt áramát kizárólag zöld hidrogén termelésre használják. A 2030-ig megépülő létesítmények teljesítményét 2040-ig 10 GW-ra tervezik bővíteni. A hidrogén termelő létesítmények részére egy mesterséges szigetet építenek. [76]

Az Egyesült Királyságban az épületek fűtésében szánnak nagyobb szerepet a hidrogénnek. A Northern Gas Network cég tervei szerint 2034-re akár 3,7 millió háztartást és 40 ezer közületet lehet ellátni hidrogénnel. A projekt a becslések szerint 22,7 milliárd fontba kerülhet. A hidrogén szolgáltatás 2028-ban indulhat el. [76]

## **9.4. Ipari léptékű alkalmazási kísérletek**

---

Németországban a Shell Rheinland Refinery üzemben évente saját használatra 180 ezer tonna hidrogént gyártanak, gőzreformálással. A finomítói kapacitás fejlesztés újabb 1300 tonna H<sub>2</sub> termelés növelést igényel. [11]

2010-ben állt üzembe New Havenben (USA) a Yale Egyetemen a Fuel Cell Energy Inc. cég 300 kW teljesítményű tüzelőanyag cellás kombinált villamos áram és hőtermelő egysége.

2013-ban helyezték üzembe a Connecticut Állami Egyetem (USA) területén az 1,4 MW teljesítményű tüzelőanyag-cellás energia központ.

2017-ben Németországban a hidrogén töltőállomások számára előállított hidrogén 52 %-a „zöld hidrogén” volt, amit víz elektrolízisével vagy biogázból nyertek ki. [43]

Ausztriában, a Rohöl-Aufsuchungs AG. Pilsbachban sikeres kísérletet folytat hidrogén tárolásra leművelt földgáz mezőben. [18] Az ezer méter mélyben lévő, porózus kőzet tároló mintegy 4,0 millió m<sup>3</sup> párnagáz mellett 1,8 millió m<sup>3</sup> mobil gázt tud befogadni. A rétegnyomás 80 bar. A mezőt egy termelő-visszanyomó kút üzemelteti. A Power-to-Gas (PtG) üzem a villamos hálózatról vett energiával termel enyhén lúgos vízből hidrogént, amit kompresszorral kevernek a besajtott földgázhoz. A hidrogén aránya a besajtott földgázban 10 tf %. A kísérletek eredményének összefoglalása:

- a hidrogén tárolható leművelt földgáz mezőben,
- a gáztároló berendezései 10 tf% hidrogén-metán keveréket jól tudtak kezelni,
- a gáztárolóban: nem volt átfertődés, a tároló kőzet nem változott, a tároló mikrobiológiai folyamatai jól ellenőrizhetők.

A Kawasaki fejlesztések egyik célja, hogy Ausztráliából Japánba (kb. kéthetes út) a cseppfolyós hidrogént szállító hajókon a napi 1 % körüli un. lefűvási gázt hidrogén-cellákkal a hajó hajtására használják. [43]

Nagy-Britanniában, Leeds városban az acél csőhálózatot polietilén anyagúra cserélik abból a célból, hogy a hálózat alkalmas legyen tiszta hidrogén fogadására (is). A projekt neve: H 21 Leeds City Gate Project. A gázellátó rendszer 660 ezer embert szolgál ki. A város gázhálózatában eredetileg városi gázt forgalmaztak, amelyben akkor még 30-50 tf%-ban is volt hidrogén. A hálózatot később különösebb átalakítások nélkül földgázra állították át, és ma folynak az előkészületek a tiszta hidrogén szállításra. Az átállítás része a gáz felhasználó készülékek cseréje is, ami tulajdonképpen a korábbi városi gáz - földgáz átállás ismétlése, de ma már az EU követelményeket is teljesítő gázkészülékekre. A város hidrogén ellátásához egyelőre négy darab, összesen 1025 MW teljesítményű földgáz bontót használnak majd. A város gázenergia igénye: éves átlagban 678 MW, a teljes éves gázigény 5,9 TWh. A napi csúcsigény 2067 MW. A fogyasztás szezonálisához majd föld alatti, sósótelegen kialakított 200 millió m<sup>3</sup>-es hidrogén tárolót használnak. A projekt előirányzott költsége: 1 milliárd GBP a hidrogén termelő, tároló és elosztó hálózat, 1 milliárd GBP a felhasználói gázberendezések cseréje. Az egész projekt kiemelt célja, hogy a felhasználóknak az új szolgáltatás ne legyen drágább, mint a földgáz ellátás. [9]



A német Energie des Nordens és a H-Tec Systems cégek megállapodtak egy szélenergia hasznosítás és hidrogén termelés projekt megépítésében. Az 1 MW teljesítményű létesítmény 2020-ban kezd üzemelni. A szélgenerátorok által termelt áramot hidrogén termelésre használják, és az üzemanyagcellákat akkor üzemeltetik, amikor a szélgenerátorok nem termelnek elegendő áramot.

Az ausztrál kormány tudományos ügynöksége (CSIRO) tette közzé, hogy membrán technológiával képesek a hidrogént ammóniává, majd ismét hidrogénné alakítani. Az ammónia biztonságos szállítása már rég megoldott dolog, ezzel a hidrogén-ammónia-hidrogén konverzióval a hidrogén szállítás kockázatai (alacsony energia sűrűség, gyúlékonyság) kiküszöbölhetők. [35]

A svájci ABB és a francia Compagnie Fluviale de Transport cégek közös fejlesztésében hidrogén hajtású folyami tolóhajó épül. A hajóhoz 400 kW teljesítményű hidrogén-cellát használnak. Az üzembe helyezést 2021-re tervezik. [60]

2019. év végén helyezték üzembe Nagy Britanniában, Staffordshire-ben, a Keele Egyetem épületeinél a földgáz-hidrogén keverék szolgáltatás rendszerét. A projekt céljai:

- hidrogén bekeverése a földgázba,
- a hidrogénnel dúsított földgáz ellátás a felhasználóknak ne kerüljön többbe, mint az előző tiszta földgázszolgáltatás,
- ne kelljen gázkészülékeket cserélni.

A projekt 130 felhasználót és 230 gázkészüléket érint. A földgáz rendszerbe hidrogént 20 % mértékig kevernek, fokozatosan. Fokozatonként méréseket és ellenőrzést tartanak. Az elosztó hálózat acél marad. [9]

Az első hidrogénnel működő ipari méretű erőművet az olaszországi Fusina városában helyezték üzembe. Az erőművet az ENEL üzemelteti. A hidrogénnel üzemelő gázturbinás berendezésben elkerülhető a korrózió és a turbina lapátokon a lerakódás. A berendezés méretei kisebbek lehetnek a nagy égési sebesség miatt. Az erőmű magasabb nitrogén-oxid kibocsátással üzemel, a magasabb turbina hőmérséklet miatt. [11]

Dél-Koreában, Szöul mellett épült meg egy ipari léptékű tüzelőanyag cellás erőmű, Az 50 MW teljesítményű erőmű évente 440 millió kWh villamos energiát termel. [11]

Az MVM közzétette saját napelem park építési terveit, amely több, nagy teljesítményű projekt megépítését jelenti. Tekintsük át, hogy egy ipari léptékű napelem park hogyan hasznosítható hidrogén termelésre. [1] A mintegy 40 hektáron épülő napelem park



74 ezer napelemmel épül, és várható termelése 21 GWh évente. 1 kg hidrogén előállításához elektrolízissel kb. 50 kWh villamos energia szükséges. Ha a napelem park éves áram termelését teljes egészében hidrogén előállításra fordítjuk, akkor:

- 65 % hatásfokkal számolhatunk,
- 300 m<sup>3</sup>/óra hidrogén termelhető,
- a földgázhoz 10 %-ban keverve óránként 2700 m<sup>3</sup> földgáz dúsítását jelenti.

Az MVM vázolja a biohidrogén gyártás lehetőségét. [7] A hidrogén jövője szempontjából fontos minden olyan kísérlet és fejlesztés, amely a hidrogén termelést környezetbarát módon, minél kevesebb energia felhasználással oldja meg. A biogázt termelő anaerob lebontás mellett léteznek olyan biológiai folyamatok is, amelyekkel a biomasszából (bio)hidrogén fejleszthető.

A Microsoft egyes adatközpontjaiban 10 MW teljesítményű tüzelőanyag cellás rendszert épített ki. A szerverfarmok jelentős és folyamatosan működő energiafogyasztók. A 10 MW-os ellátó rendszer beruházási költsége kb. 45 millió dollár. [57]

A Német Gáz- és Vízipari Szövetség (DVGW) 2019 áprilisában tette közzé a németországi Power-to-Gas projektek számát. [17] Eszerint: 11 üzemelő, 35 próbaüzemelő PtG üzem van mintegy 30 MW beépített kapacitással. A 16 megépítés alatt álló PtG üzem használatba vételével a beépített teljesítmény 273 MW lesz. A megépítés alatt álló berendezések legtöbbje 5 MW feletti.

A 2019. évi Hannoveri Kiállítás és Vásár alkalmával az EDF (Electricité de France) cég bejelentette, hogy „Hynamics” néven új vállalatot hozott létre, amelynek az lesz a feladata, hogy alacsony karbon-kibocsátással állítson elő hidrogént az ipar és a közlekedés számára. Becslésük szerint 2050-re a globális végső energia felhasználás 18 %-át hidrogénnel lehetne fedezni. Ez a reális becslések szerint 125 EJ energiát jelentene. A Hynamics elkötelezetten arra törekszik, hogy a hidrogént elektrolízissel állítsa elő, és ehhez a villamos energiát mindenek előtt megújuló forrásokból nyerje. [46]

2019 őszén feltöltés céljából Londonban kikötött az Energy Observer (EO) öko-barát úszó, kísérleti laboratórium, ami tulajdonképpen egy többéves tengeri utazásra tervezett katamarán. [23] A hajó különlegessége, hogy kizárólag környezetbarát energiák hajtják. A hajón 168 négyzetméter napelem, 126 kWh-s akkumulátor telep, hidrogéntermelő elektrolízis berendezés, hidrogéncella adja az energiát. Kiegészítő berendezés a tengervíz só-talanító és a kompresszor telep, a hidrogén 300 bar-ra

sűrítéséhez. Első indulásakor még két szélturbinát is telepítettek, ezt később vitorlákra cserélték.

A Toyota kifejlesztett egy statikus, telepített hidrogén üzemanyagcellás generátort (FC generátor), aminél a Mirai személyautóban használt üzemanyag cellát használják. Az FC generátor által előállított áramot a Honsha üzemén belül használják. A generátor napi 24 órában üzemel és 100 kW teljesítményt ad le. [56]

Ausztrál kutatók eredményesen kísérleteztek a vízbontásnál használt igen drága ruténium, platina, irídium katalizátorok helyettesítésével, olcsóbb anyagokkal. A kísérletek eredményeként a katalizátorok nanoméretű felszínén a vas és a nikkel atomi szinten találkozik, és itt történik meg a vízbontás. Eredményeik szerint a nikkel-vas katalizátor ugyanolyan hatékonysággal alkalmazható az elektrolízises hidrogén termelésre mint a platina. [55]

## 9.5. A hazai energiatárolás lehetőségei

---

A világ energia ellátásának fenntarthatóságát egyre jobban meghatározzák az időjárásfüggő megújuló energiaforrások, a nap- és szélenergia (VRE variable Renewable Energy) hasznosítás. Az energiahordozó struktúra környezet-barátabbá tételében az Európai Unió élenjár. Az EU céljai között kiemelt feladat a nap- és szélenergia hasznosítás növelése, amely viszont a villamos ellátó rendszerekkel kapcsolatban új követelményeket támaszt: [51]

- a villamos energia rendszernek rugalmasabbnak kell lenni, ehhez a villamos hálózat sűrűségének és teljesítményének növelése szükséges,
- elegendő tartalék kapacitás szükséges,
- a villamos hálózat legyen képes a lokális hatások kezelésére,
- a helyi villamos hálózaton esetenként ellenkező irányú energiaáramlás is lehetséges legyen.

A villamos energia tárolásra sokféle eljárást próbáltak már ki a világban: a szivattyús víztározós rendszereket, az olvadt só, a lendkerék, a sűrített levegő, az akkumulátoros vagy hidrogén alapú tárolási rendszereket.

A 2016. év végéig a világon állandó jelleggel kiépített energiatároló berendezések teljesítménye 156,4 GW volt, ebből a szivattyús tárolók teljesítménye 150,0 GW. Az akkumulátoros energiatárolók összes kapacitása 1,7 GW. A jelenlegi trendek azt mutatják, hogy 2030-ra az energiatárolók kapacitása 6,6-15,7 TWh-ra fog nőni,

amelyekből az EU országok részesedése 20-40 % lesz. A nem tárolós rendszerű energiatárolók várhatóan 5,8-8,4 TWh-ra fognak nőni.

A Pannon Egyetem szakértői szerint hazánkban az akkumulátoros és a hidrogén alapú energiatárolásnak van létjogosultsága, mert a szivattyús energia tárolási rendszerekhez más domborzati viszonyok és sok hely szükséges, ezek pedig itthon nem állnak rendelkezésre.

A szél- és napenergia létesítmények névleges teljesítményének 1-8 %-át kitevő energiatárolókra van szükség. 2030-ra hazánkban 60-480 MW közötti teljesítményű tárolókapacitás kiépítése szükséges, ami 37-293 MW teljesítmény integrálását jelentené a villamos rendszerbe. A szükséges beruházások folyadék akkumulátor és Power-to-Gas (PtG) tárolók esetében 19-153 milliárd forintba tehetők. Jelenleg az akkumulátoros tárolók látszanak előnyösebbnek, ha a tárolási ciklusok egy hétnél rövidebbek. Hosszabb tárolási ciklus esetén a PtG technológia hatékonyabb.

2018-ban helyezték üzembe az ország első közcélú energiatároló egységét Levelek községben. [53] A beruházás célja az volt, hogy helyi szinten biztosítsa a napelemes rendszerek biztonságos és folyamatos üzemeléséhez szükséges hálózati fogadóképességet. Az energiatároló beüzemelésével a napelemes rendszerek hatására megemelkedő feszültséget kezeli, és előírt szinten tartja. A kísérleti egység tapasztalatai megadják a nagyobb teljesítményű energiatároló egységek fejlesztéséhez a szükséges tapasztalatokat.

## 10. Hidrogén a közlekedésben

---

A hidrogén másodlagos energiahordozó, mert a természetben közvetlenül nem található, csak nyomokban.

A hidrogént megújuló energiahordozónak tekinthetjük, mert:

- a világ vízkészletei körforgásának egyik eleme,
- használata a környezetet nem szennyezi.

Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a hidrogén előállításának leggyakoribb eljárása (a szénhidrogének gőzreformálása) a légkörbe káros anyagokat bocsát ki.

A hidrogént tüzelőanyag-cellákban, gázturbinákban és belső égésű motorokban használja az energetikai iparág. Gázturbinákban még földgázhoz keverve használják.

A hidrogén felhasználás legdinamikusabban fejlődő ágazata a közúti járművek hidrogén hajtása. Ehhez gyors tempóban gyarapodik a közúti hidrogén töltő állomások száma: a világban 2018 nyarán 298 töltőállomás volt, ebből 111 Európában. A töltési helyek számának gyors emelkedését megalapozza, hogy 2050-re a világon 113 millió üzemanyagcellás járművel számolnak. Ha ez a jármű állomány üzembe áll, akkor a légköri szén-dioxid kibocsátás akár 200 millió tonnával is csökkenhet. [37]

2017-ben Németországban a hidrogén töltőállomások számára előállított hidrogén 52 %-a „zöld hidrogén” volt, amit víz elektrolízisével vagy biogázból nyertek ki. [43]

A szénhidrogének alkalmazása a gépjármű hajtásban már több, mint száz éves múltra tekint vissza. Napjaink legégetőbb problémáinak egyike az, hogy a klímaváltozás egyik meghatározó oka a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyiségének emelkedése. A levegő szén-dioxid tartalmát mintegy 30 %-ban a közlekedés okozza. A járművekben a benzin és a gázolaj kiváltás napjaink egyik legfontosabb fejlesztési feladata. Szinte minden autógyártó hozzákezdett a villamos vagy a hibrid hajtás fejlesztéséhez. Be kell látni, hogy a villamos- vagy hibrid jármű fejlesztések eredményei valóban csökkentik a szén-dioxid kibocsátást, de nem szüntetik meg.

Közlekedési szempontból jelentős különbség van a városi és az országúti gépkocsi használat között. A városi forgalomban a gyakori fékezés, megállás, gyorsítás, de alacsony az átlagos sebesség, ezért a motorok erejét elsősorban a gyorsításra vesszük igénybe. Ehhez könnyen kapcsolható, vagy automata sebességváltó a jó megoldás. A városi közlekedés igénye, hogy a motor kis teljesítménnyel is gazdaságosan működjön, és alacsony legyen a károsanyag kibocsátása. Az országúti forgalomban

gyakorlatilag egy sebesség fokozatban nagyobb távot teszünk meg, a motor teljesítményének szinte teljes kihasználásával, és ezekkel a feltételekkel kell az alacsony károsanyag kibocsátást biztosítani. Valójában a két motorral szerelt járművek oldhatják fel a kettős igénybevétel problémáját. A hibrid hajtás tulajdonképpen a probléma mai megoldása: a hagyományos motor mellett egy villamos hajtás is működik. A hibrid hajtás hátránya viszont a nagy tömegű és drága akkumulátor telep. Az akkumulátorok gyártásával kapcsolatos légkör-szennyezésről most ne beszéljünk.

A kutató intézetek a részletes prognózisok fontos fejezeteként kezelik a közlekedés energia igényét. 2019-ben az EU-ban 19 millió, Kínában 32 millió, Japánban 6 millió, az USA-ban 18 millió új gépkocsit állítottak forgalomba. A jármű állomány gyarapodása magával vonja a hajtóanyag igény emelkedését. A BP a közlekedés energiahordozó igényét a következő táblázat szerint becsüli. [38]

**20. táblázat**  
**A közlekedés várható energiahordozó igénye (Mtoe)**

	2000	2020	2025	2030	2035	2040
<b>Kőolaj</b>	1760	2593	2705	2778	2783	2702
<b>Földgáz</b>	3	66	86	109	131	154
<b>Elektromos</b>	14	39	49	67	95	136
<b>Egyéb*</b>	23	131	156	177	195	211
<b>Összesen</b>	<b>1799</b>	<b>2829</b>	<b>2995</b>	<b>3132</b>	<b>3204</b>	<b>3203</b>

*\*bioüzemanyag, LNG, hidrogén*

A járművek korszerűsítése, energia felhasználásuk csökkentése, környezet-barátabbá tétele minden autógyár elsőrendű feladata. Láthatjuk is az újonnan megjelenő autókön ezeket a törekvéseket. Az elektromos autók fiatal termékek, számtalan fejlesztési feladat van még. A villamos autók számának gyarapodása ellenére sem várható, hogy 2040 előtt a szénhidrogén hajtást érdemben visszaszorítanák.

A gépjármű fejlesztések legújabb területe a hidrogén hajtás, azzal együtt, hogy már az első autók tervezésekor is foglalkoztak a tiszta gáz hajtással, köztük a hidrogén hajtással is. Sok iparági szakértő egyetért azzal, hogy a jövő zöld energiahordozója a hidrogén lehet.

A hidrogén használata a gépjármű hajtásban a következő tulajdonságok miatt lehet előnyös: [58]

- nagy a diffúzió sebessége,
- nagyon jó a hővezető képessége,
- vízben nem oldódik,
- nagy az elektromos vezetőképessége,
- a levegő-hidrogén keverék széles tartományban gyúlékony,
- meggyújtásához kis energia szükséges,
- jó a kompresszió tűrése,
- nagy a lángsebessége,
- a hidrogén-levegő szegény keveréke is elégethető,
- könnyű a hidrogén motort indítani,
- szegény keverékkel a motorüzem gazdaságosabb, kisebb az égés hőmérséklete, kevesebb a nitrogén-oxid kibocsátás.

A hidrogén, a benzin és a gázolaj néhány jellemzőjét mutatja a 21. táblázat. [58]

**21. táblázat**  
**A hidrogén, a benzin és a gázolaj tulajdonságainak összehasonlítása**

	Mértékegység	Hidrogén	Benzin	Gázolaj
Felső hőérték	MJ/kg	141,970	45,217	44,715
Alsó hőérték	MJ/kg	119,617	42,035	41,843
Égéstermék főbb összetevők		H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CO	H <sub>2</sub> O, CO <sub>2</sub> , CO
Elméleti levegőarány	kg/kg	34,3	14,7	14,5
Gyulladási tartomány	tf%	4,0–80,8	1,4-7,6	0,8-5,5
Lamináris lángsebesség	cm/sec	267	~40	~40
Energiasűrűség	MJ/liter	8,5	31,7	35,8
Tömeghányadok				
szén	%	0,0	85,6	86,1
hidrogén	%	100,0	12,2	13,9
oxigén	%	0,0	2,2	0,0

A hidrogén ígéretes alternatívát kínál a teherautók körében, ahol nagy terhet és hosszú távra kell szállítani. A teherautók körében az akkumulátoros energia ellátás egyelőre nem használható, de a hidrogén hajtás a környezetvédelem szempontjából előnyös lehet, különösen, ha a hidrogént megújuló energiaforrásokkal állítják elő. A hidrogén előállítása zöld árammal vízből, nagy nyomásra sűrítése vagy cseppfolyósítása, töltőállomásokra szállítása, majd hidrogén-cellákban elektromos árammá alakítása jelentős energiavesztéssel oldható meg. A teherjárművek hidrogén ellátása akkor lesz gazdaságosan megoldható, ha a szél- és napenergia hasznosítás olyan mértékű lesz, hogy a szeles, napos időszakok áram felesleget tesznek lehetővé, ekkor az árammal könnyen tárolható hidrogént lehet termelni. [74]

A Cambridge Econometrics prognózist adott közre [34] a teherszállításnál alkalmazható üzemanyag cellák (FC) várható áráról, a 2016-ban látható fejlődés figyelembe vételével. (22. táblázat)

**22. táblázat**  
**Az üzemanyagcellák várható ára**

Év	FC árak EUR/kW
2015	300
2020	100
2030	62
2040	49
2050	38

A hidrogén használatát a közlekedésben sokan, sokféleképp értékelik. A hidrogén felhasználás előnyeit és hátrányait a [97] forrás összefoglalja:

Előnyök:

- hidrogén felhasználásánál nem keletkezik üvegház hatású gáz,
- a hidrogéntermelés elektrolízissel szinte bárhol megoldható, különböző teljesítménnyel,
- folyamatosan csökken az elektrolízis üzemek fajlagos ára: a 2014. évi 1750 USD/kW ár 2020-ban már 1200 USD/kW alatt van,
- meglévő gázellátó rendszerbe jelentős átalakítás nélkül bevezethető a hidrogén.

Hátrányok:

- ma még drága a hidrogén előállítása: az átlagos 6 USD/kg előállítási ár 270 dollár/hordó kőolaj árnak felel meg. A hidrogén gyártási költségét 1 USD/kg szintre kellene csökkenteni, hogy a kb. 45 USD/hordó kőolaj árral versenyezzen. 2020. márciusban (a koronavírus járvány hatására) a kőolaj ár 30 USD/hordó szint alá csökkent, ezzel a szinttel a hidrogén nem tud versenyre kelni;
- a szállítás, tárolás különleges berendezéseket igényel;
- a hidrogén használata a közlekedésben széles körben megindult. A hidrogén hajtású járművek ma még 50-150 %-kal drágábbak, mint a szénhidrogén hajtású változatok.

#### *Hidrogén keverése a hagyományos üzemanyaghoz*

A HHO hidrogén szárazcellás generátort a benzin vagy dízel hajtású autókban használják. A hidrogén cellába befolyó adalékolt desztillált vízből szabályozott elektrolízissel két rész hidrogént és egy rész oxigént termel a generátor. A gázkeveréket a szívótorokba vezetik, egy visszacsapó szelepen keresztül. A 26 lemezes generátor hidrogén termelése kb. 3 liter/perc, áramfelvétele 25-30 A. Desztillált víz fogyasztása kb. 1,2-1,5 liter 100 km-ként. A generátor használata akár 50 %-kal is csökkentheti a hagyományos üzemanyag fogyasztást. Növeli a motor teljesítményét és élettartamát. [71]

### **10.1. A hidrogénmotor alkalmazása**

---

A belső égésű motorok a Carnot körfolyamat hatálya alá eső erőgépek, ami azt jelenti, hogy hatásfokuk korlátozott a termodinamikai veszteségek miatt. Egy átlagos dugattyús motorral hajtott jármű üzemanyag felhasználásának hatásfoka 25 % körül van, ami a felszabaduló nagy mennyiségű hőenergia miatt alakul ki. [25]

A hidrogén hajtású robbanómotort legkorábban 1807-ben Francois Isac de Rivaz fejlesztette ki. A motor ún. atmoszférikus, szabad-dugattyús gázgép volt, amiben a dugattyút a meggyújtott hidrogén mozgatta. A mozgást a dugattyúrúdon lévő fogasléc és a kilincsműves fogaskerék alakította forgó mozgássá. Ezzel a motorral 1813-ban mintegy 100 métert tett meg egy jármű: ez volt az első hidrogén üzemű belső égésű motor.

Nikolaus August Otto, a róla elvezett motorok feltalálója az 1870-es években először szintézisgázt (szén-monoxid és hidrogén keveréke) használt motor hajtóanyagként,



aminek hidrogén tartalma 50 % körül volt. A motor fejlesztésének későbbi szakasza volt a benzin használata, a karburátor kifejlesztése és használata után. A benzin üzemű motorok kiszorították a gázüzemű motorokat.

A hidrogén meggyújtásához kis energia kell a benzinhez képest, ezért a hidrogénmotorokban a sovány hidrogén-levegő keverék könnyű motorindítást tesz lehetővé.

A hidrogénnek viszonylag nagy az oktánszáma, a hidrogént jobban lehet sűríteni öngyulladás nélkül. A nagyobb sűrítési arány növeli a hidrogén motor termikus hatásfokát. A hidrogén nagy lángterjedési sebessége miatt a hidrogénmotorban lejátszódó folyamat jobban közelíti a termodinamikai körfolyamatot.

A hidrogén a levegőben jobban keveredik, mint a benzingőz, ezért a motorban egyenletesebb égést tesz lehetővé.

A hidrogén elégetésének elméleti levegő/hidrogén tömegaránya 34,3:1. Ez azt jelenti, hogy elméletileg minden kilogramm hidrogénhez 34 kg levegő szükséges. Ez jóval nagyobb, mint a benzinnél szükséges 14,7:1 arány.

Szívómotor esetében a hidrogén hengerbe juttatásától függően a motor teljesítménye a benzinmotorhoz képest 85-120 % körül van: 85 % egyszerű bevezetésnél, 120 % nagynyomású befecskendezésnél.

A hidrogén motoroknál a hidrogén ellátó rendszer három típusát fejlesztették ki:

- központi vagy karburátoros befecskendezés,
- szívócső befecskendezés,
- közvetlen befecskendezés.

A hidrogén meggyújtásához szükséges alacsony energiaszint miatt a hidrogén meggyújtása egyszerű, a benzinüzemű motorok gyújtórendszere is alkalmazható.

Ha a hidrogén elégetéshez levegőt használunk, akkor a levegő nitrogén tartalmának egy részéből nitrogén-oxid keletkezik. A nitrogén-oxid mérgező gáz. A hidrogén motor nitrogén-oxid kibocsátása minimalizálható:

- a levegő/hidrogén arány optimalizálásával,
- az égési nyomás csökkentésével,
- a motor fordulatszám csökkentésével,
- a gyújtás időzítésével,
- belső hengerhűtéssel.

A ZeEUS eBUS Report 2 (2019) Európában a városi autóbuszok hajtására használt energiahordozó összetételére becslést készített. A szénhidrogének felhasználása már 2030-ra lényegesen visszaszorulhat, és a villamos hajtás lép helyébe. A buszok hajtóanyagainak megoszlására a 23. táblázat ad becslést.

**23. táblázat**  
**A tömegközlekedési járművek hajtóanyagai (%)**

	2020	2025	2030
CNG	16	17	15
Tüzelőanyag cella	2	6	10
Elektromos+akku	19	35	52
Dízel hibrid	10	11	13
Dízel	53	31	10

## 10.2. A hidrogén-cella alkalmazása autóban

A hidrogén-cella fő előnye a hagyományos, dugattyús robbanómotorokkal szemben az, hogy nem a Carnot körfolyamat alapján működnek, és a kémiai energiát hatékonyabban tudják átalakítani. A hidrogén cellás jármű hatásfoka 50 % feletti is lehet.

A hidrogén-cella alkalmazása az első járműben 1959-ben jelent meg: az Allis Chalmers amerikai mezőgazdasági gépeket gyártó cég bemutatta hidrogén-cellás traktorját. A gépben 1008 darab hidrogén-cella működött és 15 kW teljesítményt adott le. [42]

*A hidrogénhajtású autók jellemzői:*

- 2025-re azzal számolnak a nagy autó gyárok, hogy a hidrogén hajtású személyautók és a hagyományos belső égésű motorral szerelt autók ára azonos lesz,
- hatásfoka 60 % feletti,
- a hidrogén hajtású autók ható távolsága is 500-800 km lesz,
- az autó gyorsan tölthető: kb. három perc alatt, mint a hagyományos hajtású autók,
- a tankolt hidrogén ára 2019-ben még 10 euro körül van kilogrammonként, de az ár rohamos csökkenésével számolhatunk. Ma Európában 100 km megtétele elektromos autóval kb. 1200 Ft, hidrogén hajtású autóval 2280 Ft,

- nagy nyomatékka tud indulni,
- nagyon csendes,
- károsanyag kibocsátása gyakorlatilag nulla,
- egyszerű szerkezet, olcsóbb, egyszerűbb a karbantartás.

Van azért a hidrogén hajtású autóknak is néhány árnyoldala:

- az égéstermékben nitrogén-oxidok is vannak,
- az egy kilométer futásra jutó üzemanyag költség ma még kb. kétszerese, mint az elektromos autóké,
- az autó ára 2019-ben még kb. négyszerese az azonos jellemzőkkel rendelkező szénhidrogén hajtású autóhoz képest,
- a hidrogén tartály, az akkumulátor elég sok teret foglal az autóban,
- még kell pár év ahhoz, hogy az országban bárhol könnyen tölthessünk hidrogént.

A hidrogéncella hajtású személygépkocsik fejlesztését és sorozatgyártásra alkalmassá tételét a japán autógyárak indították el a világban, még az 1970-es években. Az európai autógyárak mindegyike több-kevesebb ideje szintén dolgozik a hidrogén-cella autóban hasznosításán. A Volkswagen 2000-ben jelent meg az első hidrogén-cellás autójával, de a Mercedes is 2004-ben már megjelent ezzel az új típussal.

A Hidrogén Tanács tanulmánya [52] szerint néhány területen már sikerült jelentős költségcsökkentést elérni, például az elmúlt tíz évben a töltőállomások létesítésének, és az üzemanyagok gyártásának költségei terén. A gyártás iparszerűvé vált. Japánban például megkezdődött a töltőállomások tömeges kiépítése: 2020-ra 160 töltőállomás épült, és közel 40 000 hidrogén hajtású autó üzemel az országban. A töltőállomás hálózat Európában is kiépülőben van, 2020-ra 520 töltőállomással számolnak a szakértők, 2023-ra Németországban 400, Nagy-Britanniában pedig 1150 töltőhellyel számolnak.

A [94] blog a hidrogén hajtású autók jövőjét vázolja Németországban: 2030-ig 1,8-2,0 millió autó futhat, és ellátásukra kb. ezer töltőállomás épülhet.

A hidrogén alkalmazása az autó meghajtásában az akkumulátorának használatával együtt alakult ki: a hidrogén rendszer biztosíthatja a nagyobb teljesítményű energia felhasználást, az akkumulátor pedig a regeneratív fékezést, a gyors teljesítmény emelést segítheti. A járművekben a hidrogént gáz halmazállapotban tárolják, személygépkocsikban akár 700 bar nyomáson is. A tároló tartályok acélból vagy szénszál-erősítésű kompozit anyagokból készülnek, rendkívül ellenállóak a használat

során keletkező bármilyen káros hatásnak. A hidrogén ellátó rendszerben különleges minőségű kötéseket és tömítéseket kell használni.

A járművek hidrogénnel tankolásához a hagyományos üzemanyag töltőhelyek közelében épülhetnek ki hidrogén tankolási lehetőségek. Ahogy az első töltő berendezések megépültek, valószínűleg a legtöbb helyen a helyszínen állítják majd elő a hidrogént, sűrítik és a tankolásig tárolják. A hidrogént elektrolízissel termelik, ehhez vizet kell a töltőhelyhez vezetni. A villamos áramot napelemek állítják elő, de a biztonság érdekében vezetéken is ellátják árammal a töltőhelyet.

#### *A tankolás folyamata: [94]*

Általában 350 bar vagy 700 bar töltési nyomás választható, a jármű konstrukciójától függően. A töltőpisztoly speciális kialakítású, infravörös porttal létesít kapcsolatot a jármű komputerével. Az első kapcsolat felvétel után a pisztoly kap egy nyomás löketet, a szelepek kinyitásához. A következő löket a gépkocsi tankjában lévő nyomást ellenőrzi, a töltést vezérlő komputer ennek alapján állítja be a tölthető mennyiséget. A töltő berendezés a betöltésre kerülő hidrogént -40 °C-ra hűti, mivel a gáz komprimálásakor erősen felmelegedik. A töltés szakaszos, a töltő berendezés szakaszonként ellenőrzi a tartály nyomását, és a betöltött gáz hőmérsékletét. A tartályba töltött hidrogén hőmérséklete nem emelkedhet 85 °C fölé. A tartály maximum nyomásának elérésekor a töltő berendezés leáll.

2018 nyarán rendezték az első hidrogén konferenciát Budapesten, ahol elhangzott, hogy 2020-ra kettő, 2025-re öt, 2030-ra 14 közúti töltőállomás épül meg Magyarországon. [96]

A Totalcar online magazin több szempontból összeveti két azonos (közép) kategóriájú személyautóban a villamos- és a hidrogén hajtást: [95]

- a villamos hajtásnál és a hidrogén-cella hajtásnál egyaránt elektromos hajtás van, nincs légkör szennyezés,
- a hidrogén hajtással 800 km is megtehető, villamos hajtásnál kb. 500 km,
- mindkét autó csendes, nagy a gyorsulása,
- a hidrogén hajtású autó kb. 3 perc alatt tankolható, a villamos hajtásnál legalább 30 perc szükséges,
- a hideg indításkor a hidrogén hajtású autó 35 sec után éri el a maximális teljesítmény kb. 60 %-át, a villamos hajtású autó azonnal,
- villamos töltőhelyek ma már kényelmes távolságon belül találhatók, hidrogén tankolási lehetőség 2020 tavaszán még nincs Magyarországon.

Az autók hidrogénnel történő tankolási lehetőségeinek fejlesztése több cég programjában szerepel. Az Ivys nevű cég 2017-ben elektrolízissel hidrogént termelő és tankoló állomást készített négy változatban. [110] A kisebb berendezés naponta 5 kg hidrogént állít elő, a nagyobb 10 kg-ot. Mindkét teljesítményűből van 350, illetve 700 bar töltőnyomású változat is. A berendezés kb. 4 m<sup>3</sup> térfogatú és 2,7 tonna. A kisebb változat 17,0 kW, a nagyobb 28,5 kW teljesítményt igényel, és 3, illetve 6 liter vizet igényel óránként. 1 kg hidrogén előállításához 14,4 liter vízre és kb. 50 kWh villamos energiára van szükség. A töltőhely ára 2017-ben 250 ezer dollár volt.

A Toyota Mirai személygépkocsival 1 kg hidrogénnel kb. 100 km-t lehet utazni, ami 68,4 kWh energiát jelent. Ugyanilyen kategóriájú tisztán villamos hajtású autó összes energia igénye 13-28 kWh.

Az elektromos gyorstöltő állomások kb. 300 ezer dollárba kerülnek. [111] A folyékony hidrogén tankoló állomások is épülnek az USA-ban, kb. 38 ezer liter folyékony hidrogént tárolnak. Amerikában a hidrogén hajtást kedvezményekkel támogatják. Egy Mirai tankolása az USA-ban kb. 50 dollár, ez kétszer annyi, mint egy benzin hajtású, azonos kategóriájú autóé.

A Toyota gyár 2002-ben jelent meg a hidrogén-cellás prototípussal. Máig a fejlesztések eredményeként a Toyota Mirai személyautóban sikerült csökkenteni az üzemanyag cellában lévő platina katalizátornál a platina mennyiségét, így ma már nem több a platina igény, mint egy hagyományos személyautó kipufogó katalizátorában. Fejlesztették a cella membránját is, így a protonok szabadabban járnak át, nőtt a cella teljesítmény. A feszültség emelésével csökkenteni lehetett a cellák számát és a villamos motorok méretét. 2014-ben jelent meg az autó a kereskedelemben. Az autók gyártása felfutott, 2020-ban már 30 ezer Mirai kerülhet forgalomba.

Nyugat-Európában 2015-ben jelent meg az autókereskedésekben a sorozatban gyártott Toyota Mirai gépkocsi. A tisztán hidrogén hajtású személyautó akkor egy sor technikai újdonságot tartalmazott.

A hidrogén hajtást a járműben üzemanyagcellás konstrukcióban építik ki. Az FCV jelölés a járműveken az üzemanyagcellára utal (Fuel Cell Vehicle).

A hidrogénhajtású Mirai személyautóban az első ülések alatt lítium-ionos akkumulátor kapott helyet, 56 kg tömegű, 37 liter térfogatú, 114 kW teljesítményű üzemanyagcella van az autóban. Az első kerekeket 130 kW-os váltóáramú szinkron motorok hajtják. 60 és 62 literes, 700 bar nyomású hidrogén tartály van az ülések mögött. Az autó teljesítménysűrűsége 3,1 kW/l, vagyis kétszer magasabb, mint a

hagyományos, azonos típusú személygépkocsiké. A gépkocsiban a hidrogén-cella által termelt elektromos áramot feszültség átalakító konvertálja 650 V-ra. Ugyanakkor a hajtás rendszer költsége is csökkent. A jármű menetstabilitása javult azzal, hogy az akkumulátorok és a hidrogén-cella is a padozat szintjén van, a gépkocsi súlypontja alacsonyabban van. Minden sebesség tartományban a gyorsító nyomaték érezhetően nagyobb, mint a szénhidrogén hajtásoknál. Az autó -30 °C hőmérsékletig használható, a „kipufogó” rendszeren át távozó vízgőz miatt.

Az autó 100 km-ként 0,76 kg hidrogént használ, 7 liter vizet termel és 22 m<sup>3</sup> levegőt vesz igénybe.

A jármű hatótávolsága: 500-800 km. A tankolt 5 kg hidrogén 700 bar nyomáson kb. 500 km útra elegendő. A jármű kb. három perc alatt tankolható, a betöltött hidrogén szénszűrőn keresztül kerül a hidrogén tankba. A jármű bármely sebességnél csak vízgőzt bocsát ki a levegőbe. Az autó ára 2017-ben 66 ezer euró volt. Az autó ma még drágább, mint az azonos komfortot nyújtó benzin- vagy dízel hajtású gépkocsik. A gyártó 2025-re várja azt, hogy az autó a benzin vagy dízel hajtású, azonos kategóriájú személyautók árszintjén legyen. Az autó nagy sorozatú gyártásának feladata lehet a hidrogén-cellában a platina katalizátor helyettesítése olcsóbb anyaggal.

A Toyota megjelent az FCV Plus tanulmányautójával, amelyben az üzemanyag cella nemcsak a gépkocsiban tárolt hidrogénből tud villamos energiát előállítani, hanem külső hidrogén tartályból is vehet fel üzemanyagot. Ezzel az autó mozgó áramfejlesztő lehetőséget jelent. [43]

A Hyundai gyár is megjelent a hidrogénhajtású Nexo gépkocsival. A gépkocsit sorozatban gyártják, 2018-ban már több mint ötezret értékesítettek. [69] Az autó 120 kW teljesítményű, fogyasztása 0,77-0,89 kg H<sub>2</sub>/100 km. CO<sub>2</sub> emissziója nulla. Dél-Koreában olyan mértékű az állami támogatás, hogy a 70 ezer eurós gyártási költség felét a támogatás adja.

A Mazda gyár 1991-ben mutatta be az első hidrogén hajtású személyautóját. 2008-ban már sorozatban gyártották a Mazda RX-8 Hydrogen RE jelű autót. Az autó benzin és hidrogénhajtásra egyaránt alkalmas: hidrogénnel 109, benzinnel 210 lóerős, nyomatéka 140, illetve 222 Nm. Tömege 1460 kg. A csomagtartóban kapnak helyet a hidrogén tartályok, amelyek 350 bar maximális nyomáson tárolják a gázt. A 61 literes benzin tartály az ülések mögött kapott helyet. Az autó hatótávolsága hidrogénnel 100 km, benzinnel 550 km. [73]

Az európai autógyárak mindegyike készül a tisztán hidrogén hajtású személyautók sorozatgyártására. A japán minta sokat segít a fejlesztésekben, de minden európai

gyártó további egyszerűsítéseket és a költségek csökkentését tűzte ki célul. A legtöbb gyártó úgy véli, hogy 2025-re a hidrogénhajtású autók nem lesznek drágábbak, mint az azonos kategóriájú szénhidrogén hajtású gépkocsik.

A BMW volt az első autógyár a világon, amely hidrogén hajtású autók fejlesztésébe kezdett, ugyanis már 1978 óta folynak a kísérletek a gyárban a hidrogén használatára a motorokban és a járművekben. [107] A BMW 2000 májusában mutatta be a BMW 750hL jelzésű gépkocsijának első példányait. A bemutatóig a minta példányok már 170 ezer km-t futottak. A BMW a kettős üzemű, benzinnel és hidrogénnel egyaránt működő autókkal indította a kísérleteit. A kereskedelmi forgalomba került személygépkocsi hidrogénnel mintegy 300 kilométert, benzinnel pedig 500 kilométert tud megtenni, és maximális sebessége 210 km/óra. A hibrid autót egy hatliteres, 12 hengeres motor hajtja, amelynek teljesítménye 170 kW, maximális forgatónyomatéka 337 Nm. [47]

A BMW autógyár 2019 szeptemberében mutatta be a tisztán hidrogén-cella hajtású személyautóját, amit „BMW i-Hydrogen NEXT” névvel ruháztak fel. A sorozatgyártás 2020 második félévben indul el. Az autó hidrogén-cellája 125 kW teljesítményű. Az autóban két 700 bar nyomású tartály található, amelyben hat kilogramm hidrogén fér el. [113]

Az Audi A7 Sportback H-tron quattro jelű autója is megjelent a kereskedelemben. A kimondottan sportautó orrában helyezték el a hidrogén-cella blokkot. A blokk 300 önálló hidrogén-cellát tartalmaz. A cellákban polimer műanyag membrán van, amelynek két oldalán van a platina katalizátor. A kipufogórendszer súlytakarékos műanyagból készült. Két villamos motorja egyenként 85 kW, forgatónyomatékuk 270 Nm. Álló helyzetből 7,9 mp alatt gyorsul 100 km/óra, végsebessége 180 km/óra. A négy hidrogén tartály 700 bar nyomást bír, alumínium falukat szénszál erősítésű műanyag burkolat veszi körül. Egy tankolással kb. 500 km-t tud menni. [36]

A Škoda Electric és a német Proton Power System cég közös fejlesztésbe fogott. [46] Škoda buszokban a Proton cég moduláris jellegű HyRange® tüzelőanyag celláját alkalmazzák, amely hatótávolság növelőként működik. Ebben a koncepcióban viszonylag kis tüzelőanyag cella teljesítményt kell beépíteni a buszba: 37 kW-ot.

Az UITP (Union Internationale des Transports Publics) szervezet a „Global Public Transport Summit 2019” konferenciáján a lengyel Solaris autóbusz gyártó 2019. júniusban bemutatta az „Urbino 12 hydrogen” elnevezésű tüzelőanyag-cellás városi autóbuszát. [46] A városi busz 37 férőhelyes. A járművet két, egyenként 60 kW teljesítményű tüzelőanyag-cella modul hajtja, és a hajtásláncban megtalálható a lítium-ion akkumulátor is. A villamos energia termelő egységek két 125 kW -os,



tengelybe integrált villanymotort hajtanak meg. A hidrogén tárolására 5 darab, 350 bar nyomású, egyenként 312 literes kompozit palack szolgál. Az autóbusz hatótávolsága 350 km.

A Toyota és a Lexus autógyárak közös fejlesztésével elindult a „Sora” (Sky, Ocean, River, Air rövidítése) nevű autóbusz sorozatgyártása, amelyből a 2020-as tokiói olimpiára legalább 100 darabot terveztek szállítani. [65] Toyota üzemanyag cellás rendszert (TFCS) építenek bele, és fel van szerelve 9 kW teljesítményű külső elektromos csatlakozóval is. Az autóbusz néhány jellemzője:

- 22 ülőhely, 56 állóhely,
- FC rendszer: Toyota FC Stack (szilárd polimer-elektrolit),
- maximális teljesítmény: 2x114 kW,
- maximális forgatónyomaték: 2x335 Nm,
- 10 darab hidrogén tartály, összesen 600 liter, 70 MPa,
- akkumulátor: nikkel-metál hidrid.

A Toyota arra buzdítja versenytársait, hogy minél mélyebben foglalkozzanak a hidrogénben rejlő lehetőségekkel. Ennek érdekében a Toyota 2020-ig elérhetővé tette 5680 darab szabadalmát, amit a versenytársak ingyen felhasználhatnak. [96]

A Toyota a Hino Motors-al összefogva közúti teherszállító járművek hidrogén hajtású változatának kifejlesztésébe fogott. [101] Az alap jármű a Hino Profia bulldog-fülkés nehéz tehergépkocsi, amit már 2007 óta gyártanak: háromtengelyes, egy kerék hajtású járműben eredetileg 8,9 literes, illetve 12,9 literes soros, hathengeres dízelmotor van. A két jármű 320 és 410 LE teljesítményű, 1570 és 2160 Nm nyomatékkal. Az elektromos hajtáslánc működtetéséhez szükséges elektromos energiát lítium-ion akkumulátor csoport biztosítja. Az áramellátásban részt vesz két darab polimer elektrolit membrános hidrogén-cella. A cella 56 kg tömegű, 37 liter térfogatú, 114 kW teljesítményű. A kamion hatótávolsága 600 km.

A Toyota Cityben működő Motomachi gyárban a Toyota üzembe helyezett egy SimpleFuel elnevezésű egységet. [100] A kb. 2,0 m x 2,0 m x 0,6 m méretű egység napelemekkel termelt villamos energiából állít elő elektrolízissel hidrogént. Az egységben tartály és kompresszor is van. A berendezés naponta 100 Nm<sup>3</sup> hidrogént termel. A hidrogént a telepen üzemelő hidrogén-cella hajtású targoncákba tankolják. Egy hidrogéntermelő blokk hét-nyolc targonca üzemanyag igényét termeli meg. A telepen üzemelő 70 targoncát fokozatosan állítják át hidrogénhajtásra, újabb hidrogéntermelő egységek üzembe állításával.



A hidrogén cellával működő autók gyorsabb elterjedésének feltétele viszont a hidrogén tankolási lehetőségek megteremtése, kb. 50 kilométerenként. Megoldást hozhat azoknak a bárhol telepíthető hidrogén töltőhelyeknek a sorozat gyártása, amelyek napelemmel termelt villamos energiából elektrolízissel termelnek hidrogént, amit kompresszorral a töltési nyomásra sűrítene. A töltőhely létesítéshez vízre van szükség, és a biztonság kedvéért villamos hálózatra csatlakozásra. [37]

Az USA-ban 2019 elején 60 közúti hidrogén töltőállomás üzemelt, két év múlva már 160 töltőállomással számolnak. 2018 év végén Az USA-ban üzemelő hidrogén-tüzelőanyag cellás targoncák száma meghaladta a 20 ezret. [6] Ehhez telephelyenként hozzá tartozik a hidrogén-töltő hálózat, amely esetenként hidrogén termelő berendezéssel egészül ki.

Európában 2019 elején 81 töltő állomás volt, és 2020-ra 520 töltőállomással számolnak.

Prognózist is készítettek a hidrogén hajtású autó legfontosabb üzemi paramétereiről: [42] (24. táblázat)

**24. táblázat**  
**A hidrogén hajtású autók várható fogyasztása és hatótávja**

Jellemző	Mértékegység	2010	2015	2035
Fogyasztás	kg H <sub>2</sub> /100 km	1,1	0,8	0,6
Fogyasztás benzin egyenértékben	liter/100 km	3,8	2,7	2,3
Hatótávolság	km	400	500-600	700-800

A németországi freiburgi Fraunhofer intézet vizsgálta a tisztán villamos hajtású és az üzemanyagcellás autók összes szén-dioxid kibocsátását, az alkatrészek gyártásától tízéves üzemeltetésig. Megállapították, hogy:

- ha a villanyautó hatótávolsága nem haladja meg a 250 km-t (viszonylag kis akkumulátorral üzemel), akkor a teljes élettartam alatt kevesebb szén-dioxidot bocsát ki, mint egy üzemanyagcellás autó;
- egy üzemanyag cellás autó előállításánál a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyisége körülbelül egy 45-50 kWh kapacitású akkumulátoros autóéval egyezik;
- figyelembe kell venni azt is, hogy a villanyautó által felvett áram termelésénél milyen arányban vettek igénybe megújuló energiahordozót. Magyarországon a villamos hálózatról levett energia kb. 16 %-a származik megújuló energiahordozóból;

- tízéves/150 ezer kilométeres használatot feltételezve az üzemanyag cellás autók légkör károsítása kisebb, mint a tisztán villamos hajtású autóké.

Megszólalt az OPEC is a villamos és a hidrogén hajtású autók karrierjét látva. Prognózisuk szerint a szénhidrogén hajtás a járművekben nincs leáldozóban, a dízel és az Otto motor dominanciája változatlanul megmarad: 2040-ben még 92 % lesz. A dízel hajtott autók az összes autó között a 2014. évi 14 %-ról 2040-re 21 %-ra növekedik, a benzin hajtásúak aránya 82 %-ról 71 %-ra csökken. [42]

### **10.3. A hidrogén-cella alkalmazása a vasúti, a vízi és a légi közlekedésben**

---

2012-ben Osloban öt hidrogén hajtású Van Hool típusú, belga gyártású autóbusz állt forgalomba. A buszok üzemanyag-celláját a kanadai Ballard Power Systems cég készítette: 150 kW teljesítményűek. A buszban 17,4 kW teljesítményű lítium akkumulátor telep is üzemel. A két darab 150 kW-os motor hajtja a buszt. A fékezési energiát 60 kW-os fékellenállás tölti az akkumulátorokba. 7 darab szénszál erősítésű alumínium tartályban 350 bar nyomáson 35 kg hidrogént visz magával a busz. [116]

A tüzelőanyag-cellák használata a vasúti járművek hajtásához gyorsan terjed a világban.

Németországban 2018-ban forgalomba állított a francia Alstom cég két vasúti személyszállító járművet, hidrogén hajtással és akkumulátor teleppel. 2020-ban további három hidrogén hajtású vonatot állítanak forgalomba, 2022-re pedig 64 szerelvény közlekedhet. A 300 férőhelyes Coradia iLinet elnevezésű ingázó személyvonatot 2018 óta tesztelik, eddig 150 ezer km-t teljesítettek. A szerelvény egy hidrogén feltöltéssel 800 km-t tud futni. [37]

A magyar Kontakt-Elektro Kft. hidrogén üzemű, üzemanyag cellás kishajókat fejlesztett. Az első kishajó tömege 250 kg, 6 személyt szállíthat, a motor teljesítménye 2,4 kW, sebessége kb. 8 km/h. A hajót FCS-300-HYB jelű üzemanyag cella által termelt áram hajtja. Az üzemanyag cella maximális villamos teljesítménye 2,7 kW. A hajóban van még 220 Ah kapacitású akkumulátor telep is. A hajón a hidrogént palackokban szállítják. Tervezik nagyobb teljesítményű hajó hajtások építését is: 15 kW, 25 km/h határokig. [13]

A San Bernardino Közlekedési Hatóság (USA) megrendelésére a svájci Stadler cég hidrogén hajtású motorvonatokat készít. A kétkocsis szerelvényt elővárosi forgalomban használják. 108 férőhellyel rendelkezik és 130 km/óra végsebességre képes. [47]

Az Alstom gyár jelenleg két alsó-szászországi vonalon üzemeltet hidrogén üzemanyagcellás vasúti szerelvényeket. [96] 2022-re további három német tartományba összesen 64 hidrogén hajtású szerelvény áll üzembe.

A holland Sinot hajógyár 2019-ben bocsátotta vízre a hidrogén hajtású, 112 méter hosszú hajóját. [82] Az Aqua névre keresztelt hajó hidrogénnel működik, amit cseppfolyós állapotban, két darab 25 ezer kg töltetű tartályban tárolnak -253 °C hőmérsékleten. A két 1 MW-os elektromos meghajtó rendszerhez PEM (Proton Exchange Membrane) hidrogén-cella csoport termeli az áramot. A cellába a hidrogénhez levegőt vezetnek be. A hajó csúcsebessége 17 csomó, utazó sebessége 10-12 csomó. Egy feltöltéssel közel 7000 km-t is meg tud tenni. A tankolási lehetőségei ma még korlátozottak.

2016-ban a Pipistrel kisrepülőgép gyártó cég, a Hydrogenics üzemanyag-cella specialista cég, az Ulmi Egyetem és a Német Légügyi Központ bemutatta a HY4 nevű hidrogéncellával és akkumulátorral hajtott hibrid repülőgépet, amely négy személy szállítására is alkalmas. A két vitorlázó repülőből épített légi jármű hidrogén-cellái 42 kW teljesítményre képesek. A gép hidrogén-cellával és akkumulátorral van felszerelve. 165 km/óra sebességet tud elérni, hatótávolsága 1500 km. Le és felszálláskor az akkumulátorok is rásegítenek a hidrogén-cellákra.

A Bács-Kiskun megyei Jakabszálláson 2020. január 22-én a magyar Genevation Aircraft Kft. és az amerikai Alaka'i cég bemutatta a világ első hidrogén üzemanyag-cella meghajtású, személyszállításra is alkalmas, magyar-amerikai együttműködésben fejlesztett légi járművet, egy hat rotoros drónt. A „Skai” nevű gép 500 kg teher, vagy négy személy szállítására alkalmas, négy órán át tud a levegőben maradni

Az Airbus 2008-ban elsőként tesztelt hidrogéncellás, pilóta vezette polgári repülőgépet. A repülőben hidrogén-cella rendszer biztosította a tartalék hidraulika szivattyújának és hidraulika körének, valamint elektromos rendszerének energia ellátását és a csűrők mozgatóját. A tesztrepülés alatt 20 kW teljesítményt és közel 10 liter tiszta vizet termelt a cella. [87]

2008 májusában a Boeing Research & Technology Europe cég bemutatta a Diamond által gyártott HK36 Super Dimona típusú motoros vitorlázó gép hibrid hajtásrendszerrel ellátott változatát. A gép hagyományos légsavar meghajtását

PEMFC típusú hidrogén-cella köteg és egy tömegkönnyített Li-ion akkumulátor látja el energiával. [87] A 20 kW teljesítmény leadására képes cellák hidrogén ellátását az ülések mögött elhelyezett 350 bar nyomású hidrogén tartály biztosítja. Felszállásnál és emelkedésnél az akkumulátorok energiájára is szükség van. Az ezer méter magasság elérésekor a gépet csak a hidrogén-cellák hajtották, 20 percen át, 100 km/óra sebességgel.

Az Airbus 2016-ban újabb repülőgéppel mutatkozott be: az E-Fan Plus jelű hibrid hajtású kisrepülővel. A sugárhajtású gép ventilátorait vagy Li-ion akkumulátorról, vagy PEMFC hidrogén-celláról vagy belsőégésű motorról hajtják. A 60 kW teljesítményre képe hidrogén-cellák és az akkumulátorok a hajtómű burkolata alatt kaptak helyet. A belsőégésű motor a hatótávolság növelésében kap szerepet. [87]

A Goldi Mobility Kft. (Ráckeve) hidrogén meghajtású drónt fejlesztett. [104] A hidrogén üzemanyag-cellás drón akár 5000 m-es magasságba is tud emelkedni, és 3 órás repülésre alkalmas. A 12 literes hidrogén tartályban viszi magával a hajtóanyagot.

A Német Légügyi Központ Mérnöki Termodinamika Intézete 2015-ben mutatta be az Antares DLR H2-Gen 2 nevű hidrogén-cellával működő egyszemélyes hibrid repülőgépét. A repülő egy vitorlázó gép, amelyet légcsavarral és hidrogén-cellás hibrid egységgel egészítettek ki. Az 55 kW teljesítményre képes, hűtéssel is ellátott moduláris cellarendszert a hidrogén tartállyal együtt a szárnyak alatt, áramvonalas gondolában helyezték el. A légcsvár a pilóta fülke mögött található. A gép hatásfoka eléri az 52 %-ot. [87]

## 11. A hidrogén felhasználás jövője

A koronavírus világméretű elterjedése és a járvány elleni harc évekre átrendezheti a világ gazdaságát, a fejlődést lényegesen mérsékelheti. Londoni makrogazdasági elemzők 2020 márciusában a 2020-as évre a 2008-2009 évben átélthez hasonló recessziót prognosztizáltak, azt követő két évben szolid léptékű fejlődés után érheti el a világ a 2019-es esztendő gazdasági szintjét. [99] Az elemzők a 2020. évre az USA-ban 3 %, az euró övezetben 5 %, Olaszországban 6 % GDP csökkenést becsülnék. A kialakult helyzet átrendezi az energiahordozók termelését, felhasználását is. A világszerte megindult légkörvédelmi programok lelassulhatnak, a fejlesztések halasztást szenvedhetnek. Az energiahordozó árak érzékenyen reagálnak az igények csökkenésére: 2020 márciusában a Brent típusú kőolaj tőzsdei ára 30 dollár/hordó szint alá csökkent, ami viszont rövid időn belül az olajtermelő országok gazdaságának recesszióját, esetenként válságát is eredményezheti.

A világ gazdasági helyzetének ez a nem várt, igen jelentős visszaesése a hidrogén alkalmazás térnyerésére is hatással lesz. A kutatások leállhatnak, a ma még viszonylag drága alkalmazási eljárások és technológiák háttérbe szorulhatnak, különösen a hirtelen olcsóvá vált fosszilis energiahordozók hatására. Abban bízhatunk, hogy a hidrogén iránti érdeklődés és a hidrogén technológia alkalmazás kísérletei két-három év múlva ismét visszatérnek, és a mindennapi életünk részévé válnak.

A hidrogén energetikai használatának jövőjét több tényező befolyásolja:

- A világ országainak egysége a légkör védelmére: ma ez még nem látszik, különösen a világ legnagyobb szén-dioxid kibocsátó államainak vonakodása miatt. Szerencsére több nagy nemzetközi szervezet aktív a légkör védelem programját illetően. Az Európai Unió - bár a világ szén-dioxid kibocsátásának csak mintegy 10 %-ért felelős - a legaktívabb szervezet.
- A szén-dioxid kibocsátás csökkentése a fő cél, vagyis mindegyik kibocsátási forrás mérséklése vagy energiahordozójának lecserélése a feladat. A csökkentésre fordítható figyelem, pénzforrás megoszlik a különböző fosszilis energiahordozók között.
- A kibocsátás csökkentés egyik útja a felhasználási technológiák fejlesztése, energiatakarékos eljárások bevezetése.
- A szén-dioxid kibocsátás csökkentési akciók egy sor országban ütköznek az adott ország közvetlen érdekeivel: saját fosszilis energiahordozó termelő iparágukkal, a villamos energia termelés kialakult struktúrájával. Iparágak

sorát, munkahelyeket, az emberek foglalkoztatását közvetlenül érinti az energiahordozó cserék bevezetése.

- Az energiahordozó takarékoság, vagy csere alapvetően erősen beruházás igényes. Az OECD ország csoporton kívüli államok esetében a beruházási lehetőségek kisebbek a kívánt mértéknél.
- Az azonnal elhatározott energiahordozó cserék esetében is évek, évtizedek kellenek a légkörben a mérhető hatás elérésére.
- A klímavédelmi célok egyik feltétele a nagy teljesítményű nemzetközi energiahordozó cserék lehetőségének megteremtése. A villamos hálózatok határon túli összekapcsolása is csak Európában indult meg érdemi mértékben.
- A fosszilis energiahordozó cserék többirányúak: köztük kap szerepet a teljes mértékben környezetbarát hidrogén is.

A klímavédelmi intézkedések széles körében foglal egyre erősödő helyet a hidrogén energetikai alkalmazásának előretörése is.

2017 év elején megalakult a Hidrogén Tanács, az a nemzetközi szervezet, amely a technológia fejlesztésben, az energetikában és a leginkább energiaigényes termékek gyártásában érdekelt. [24] A Tanács tagjainak és a pártoló tagoknak a száma 2019 év végén közel ötven nemzetközi kutató és termelő cég. A Tanács rendezvényeivel és kiadványaival hatást tud gyakorolni a nemzeti döntések meghozatalára. A Hidrogén Tanács társelnöke, Benoit Potier (az Air Liquide elnök-vezérigazgatója) a következőket nyilatkozta:

*„Örömmel látom, hogy egyre több jelentős vállalat kötelezi el magát a hidrogén mellett, felismerve, hogy ez az energetikai átalakulás megoldása. Megalapítása óta a Hidrogén Tanács határozottan lendületbe jött. Olyan magas szintű tanácskozásokon veszünk részt, mint a Világgazdasági Fórum, a New York Klímahét, az Egy Bolygó csúcstalálkozó és a COP23. Mindez előrehaladást eredményez a politikai döntések meghozatalára, a környezetvédelmi kormányprogramok alakításában. Feladatunk újabb tagok bevonása a szervezetünkbe, és együttműködés más nemzetközi szervezetekkel azért, hogy a hidrogén a hétköznapijaink részévé váljon.”*

Alapos elemzéseik szerint 2050-re a világ primer energia igényének 18 %-a lesz hidrogénnel fedezhető. A hidrogén iparág 2,5 ezer milliárd dollár bevételt és 30 millió munkahelyet jelentő piac lehet.

A hidrogén jelenlegi ipari felhasználása és a folyó kutatások alapján vázolható a hidrogén új szerepe a jövő évtizedekben: [2]

- szénhidrogének kiváltása, főleg a közúti közlekedésben és a villamos energia termelésben,
- telephelyen belüli anyagmozgató eszközök hajtása,
- kisléptékű villamos áram termelés intézményeknél, vállalkozásoknál kb. 1-2 kW teljesítménnyel, és a hő kiegészítő hasznosítása,
- hordozható energiaforrások - először a katonai alkalmazás indult el,
- szünetmentes áramforrások kis teljesítménnyel,
- teljes energia ellátás villamos hálózattól távoli helyen,
- részvétel a villamos rendszer szabályozásban,
- földgázhoz keverés, földgáz helyettesítése az energia ellátásban.

**Szerencsés lenne, ha az energetikai ipar irányítóinak figyelme a hidrogén sokrétű ipari léptékű használatára, köztük a villamos áram termelés szezonálisát kiegyenlítő környezetbarát eljárásra irányulna.**

## 12. Rövidítések jegyzéke

---

<b>BP</b>	British Petroleum
<b>CNG</b>	Compressed Natural Gas, sűrített földgáz
<b>EIA</b>	U.S. Energy Information Administration
<b>FC</b>	Fuel Cell: tüzelőanyag cella
<b>FCV</b>	Fuel Cell Vehicle: üzemanyag-cellás jármű
<b>GHS</b>	Global Harmonised System: Globálisan Harmonizált Rendszer, veszélyes vegyi anyagok azonosítására szolgáló nemzetközi rendszer
<b>HTC</b>	Hidrogén Tüzelőanyag Cella
<b>IEA</b>	International Energy Agency (Paris)
<b>IPCEI</b>	Important Project of Common European Interest: EU kiemelt program
<b>ITM</b>	Innovációs és Technológiai Minisztérium
<b>KSH</b>	Központi Statisztikai Hivatal
<b>LNG</b>	Liquified Natural Gas: cseppfolyós földgáz
<b>MEKH</b>	Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal
<b>MOF</b>	Metal Organic Framework: szilárd hordozós gáztároló, melyben fém ionok felületéhez kötik a tárolandó hidrogént
<b>NEKT</b>	Magyarország Nemzeti Energia- és Klímaterve 2020-2040
<b>OPEC</b>	Organization of the Petroleum Exporting Countries, 14 olaj exportáló ország kereskedelmi szervezete
<b>PEM</b>	protoncsere membrános tüzelőanyag cella
<b>PHS</b>	Pumped-Storage Hydroelectricity: szivattyús energia tárolási rendszer
<b>PtG, P2G</b>	Power-to-Gas: áramból gáz előállítása
<b>P2F</b>	Power-to-Fuel: áramból üzemanyag előállítása
<b>ppm</b>	Part per million: milliommód rész
<b>TSO</b>	Transmission System Operator: villamos átviteli rendszerirányító
<b>VRE</b>	Variable Renewable Energy: változó rendelkezésre állású megújuló energia, pl. nap- és szélenergia



### 13. Mértékegységek, átváltások

---

1 barrel (US) = 158,9872 liter

1 barrel (UK) = 163,6592 liter

1 TWh ~ 105 millió m<sup>3</sup> földgáz

1 t kőolaj = 40,8 10<sup>9</sup> J

1 t LNG = 1360 m<sup>3</sup> földgáz

1 Btu = 1,05435 kJ (ISO)

1 Btu ~ 0,03 m<sup>3</sup> földgáz

1 MBtu = 3412 GWh

1 J = 1 Nm = 1 Ws = 2,78 10<sup>-7</sup> kWh

1 MJ = 0,278 kWh

1 GJ = 278 kWh

1 GJ ~ 29,24 m<sup>3</sup> földgáz

1 toe = 41,868 10<sup>9</sup> J

1 Mtoe = 11,317 10<sup>9</sup> kWh

1 Mtoe ~ 1,11 milliárd m<sup>3</sup> földgáz

0 °C = 273,15 K

15 °C = 288,15 K

20 °C = 293,15 K

25 °C = 298,15 K

*Forrás: Bryan Donkin Company Limited (England): Data Manual*

## 14. Irodalomjegyzék

---

- [1] Galyas Anna Bella (2018): Hidrogén a földgázhálózatban – fikció vagy már a valóság? / 26. DUNAGÁZ Konferencia és Kiállítás
- [2] [www.tankonyvtar.hu](http://www.tankonyvtar.hu) (2019) / hidrogen es metanol 2019 04 02
- [3] Dr. M. Csizmadia Béla (2019): Az e-mobilitásról másképpen. / Mérnök Újság 2019. április
- [4] Rozsnyai Gábor (2019): Hidrogént a tankba? / Mérnök Újság 2019. április
- [5] Mechanical Integrity of Syngas Outlet Systems. (2015) EIGA, doc 202/15
- [6] Bándy Tamás (2015): Hidrogén tisztítás-hasznosítás. TVK-Tiszaújváros 2015. 07. 09.
- [7] [www.mvmpartner.hu](http://www.mvmpartner.hu) (2019) Biológiai alapú, energetika célú gáztermelés lehetséges irányvonalai Magyarországon 2019 04 04
- [8] <https://www.hfc-hungary.org> 2020/1. szám április
- [9] Szilágyi Zsombor (2019): A hidrogén jövőbeni szerepe a földgázellátásban / 50. Nemzetközi Gázkonferencia. Sárvár, 2019. október 21-22.
- [10] Szerk: Berecz Endre (1991) Kémia műszakiaknak. 2.1.3.1. Hidrogén. / Tankönyvkiadó 1991.
- [11] Reményi Károly (2019): A földgáz az energetika „Jolly Jokere”. / Energiagazdálkodás 2019. 4-5. szám
- [12] Hidrogén elnyelődésének és diffúziójának vizsgálata fémekben.
- [13] Csordás Antal (2018): Honnan- Hová FC- fejlesztések a Kontakt-Elektro Kft.-nél / HyLaw Workshop [www.hfc-hungary.org/hylaw/2018. 09. 27.](http://www.hfc-hungary.org/hylaw/2018.09.27)
- [14] Messer Hungarogáz Kft. Gases & know-how kiadvány
- [15] [https://worldscienceforum.org/tudomany\\_hirei/zoldalga-hidrogentermeles-fotoszintezis-mta-szbk-109797](https://worldscienceforum.org/tudomany_hirei/zoldalga-hidrogentermeles-fotoszintezis-mta-szbk-109797)
- [16] Bucsy György-Mayer Zoltán (2009): Tüzelőanyag cellák: nem a távoli jövő technológiája. / Környezetvédelem 2009. 3. szám
- [17] <https://www.dvgw.de/medien/>
- [18] Mayer Zoltán (2019): Újabb látogatás a RAG ausztriai Power to Gas létesítményében / [www.hfc-hungary.org](http://www.hfc-hungary.org) 2019. november 15.
- [19] <https://www.portfolio.hu/cimke/hidrogen> 2013. 04. 19.
- [20] <https://www.portfolio.hu/cimke/hidrogen> 2018. 08. 08.
- [21] <https://www.portfolio.hu/cimke/hidrogen> 2019. 12. 19.
- [22] Ronald DeLorenzo (1196): Hydrogen Fuel. Saunders College Publishing fifth edition
- [23] <https://www.gyartastrend.hu/energetika/cikk/> 2019. 12. 28.
- [24] <https://www.e-cars.hu/2018/03/20>

- [25] <https://www.autotechnika.hu/cikkek/motor-eroatvitel/11107>
- [26] <https://www.toyota.hu/wold-of-toyota>
- [27] Hlavay Richard: Hidrogén: remények és problémák / [https://www.energiainfo.hu/hidrogen\\_remenyek\\_es\\_problemak-5560](https://www.energiainfo.hu/hidrogen_remenyek_es_problemak-5560).
- [28] MEKH adatok
- [29] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Hidrogén-peroxid>
- [30] [https://www.hfc-hungary.org/kozlemeny/2018\\_10\\_02](https://www.hfc-hungary.org/kozlemeny/2018_10_02)
- [31] [https://www.hfc-hungary.org/kozlemeny/2019\\_10\\_01](https://www.hfc-hungary.org/kozlemeny/2019_10_01)
- [32] Hirth Ferenc, Götz Sándor (2019): Hidrogéngazdaság. / Mérnök Újság 2019. november
- [33] Gaál Zsófia, dr. Bezegh András (2019): Tervezés a változásra / <https://www.mernokvagyok.hu> 2019 11 11
- [34] Dr. Fazekas Dóra (2019): Cambridge Econometrics: The role for hydrogen in the low-carbon economy / 2019. szept. 26. <https://camecon.com>
- [35] <https://index.hu/techtud/2018/08/08>
- [36] <https://www.autopro.hu/2016/04/07>
- [37] <https://www.origo.hu/auto/20180601>
- [38] BP Energy Outlook – 2019 edition
- [39] <https://www.kolloid-unideb.hu/wp-content>
- [40] Kovács Kornél (2005): Tiszta, megújuló energia: a hidrogén alapú gazdaság kihívása az emberiség és a biotechnológia számára. / Magyar Tudomány, 2005/3. szám 258. oldal
- [41] <https://www.tmkronika.hu/hirek/uj-korszak-kuszoben-hidrogen> 2020. 01. 09.
- [42] <https://www.autoszektor.hu/content/aramszolgáltatás-hidrogen-tuzeloanyag-cellá> 2014. 12. 21.
- [43] <https://www.autoszektor.hu> 2017. 07. 13.
- [44] [https://www.hfc-hungary.org/Hydrogen\\_IPCEI\\_2019\\_final.pdf](https://www.hfc-hungary.org/Hydrogen_IPCEI_2019_final.pdf)
- [45] <https://www.energiaoldal.hu/magyar-vilagujdonsag-2in1-hidrogencella>
- [46] H2 – Hidrogén Hírlevél 2019/2. augusztus
- [47] H2 – Hidrogén Hírlevél 2019/3. december
- [48] Imre, Szentannai, Kustán, László, Groniewsky, Domán (2019): Egy Power-to-Gas alapú komplex energiatárolási kutató-fejlesztőközpont terve – kihívások, kapcsolódó kutatások. / Energiagazdálkodás 2019. 6. szám
- [49] Zavarkó (2019): Nemzetközi power-to-gas technológia fejlesztési projektek tanulságai. / Energiagazdálkodás 2019. 6. szám
- [50] Csedő (2019): A power-to-gas technológiafejlesztés üzleti modellje Magyarországon. / Energiagazdálkodás 2019. 6. szám

- [51] Pintér, Birkner, Hegedűsné, Zsiborács (2019): A hazai energiatárolás lehetőségei 2030-ig. / Energiagazdálkodás 2019. 6. szám
- [52] <https://www.toyotamayer.hu/hirek/nem-kategorizalt-hir/hidrogen>
- [53] <https://www.villanylap.hu/szerzo/fulop-miklos>
- [54] <https://hirado.hu/rovatok/belfold/gazdasag> 2020. 01. 22.
- [55] <https://www.nrgreport.com/fenntarthatosag> 2019 12 18
- [56] <https://gyartastrend.hu> 2019 09 24
- [57] H2 – Hidrogén Hírlevél 2017/3. december
- [58] A hidrogén felhasználása belsőégésű motorokban. BME Gépjárművek Tanszék 2008.
- [59] <https://ng.hu/tudomany/2017/09/29>
- [60] <https://www.muszaki-magazin.hu/2019/05/28>
- [61] Messer Hungarogáz Kft. biztonsági adatlapja
- [62] [https://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedelzeti\\_elektronika](https://www.mogi.bme.hu/TAMOP/jarmufedelzeti_elektronika)
- [63] Ronald DeLorenzo: General Chemistry (1996): Saunders College Publishing
- [64] [https://www.energiainfo.hu/hidrogen\\_remenyek\\_es\\_problemak-5560](https://www.energiainfo.hu/hidrogen_remenyek_es_problemak-5560)
- [65] <https://e-cars.hu/2018/03/29>
- [66] <https://www.termesztvilaga.hu/tv100/tv898/hidrogen>
- [67] <https://www.ecoboiler-review.eu/download/20200213>
- [68] <https://24.hu/elet-stilus/2005/08/31>
- [69] <https://h2info.hu/cikkek>
- [70] [https://regi.tankonyvtar.hu/hv/tartalom/tampo412A/2010-0017\\_31](https://regi.tankonyvtar.hu/hv/tartalom/tampo412A/2010-0017_31)
- [71] [https://www.licit.hu/arveres\\_HHO\\_szarazcellas\\_hidrogen\\_generator](https://www.licit.hu/arveres_HHO_szarazcellas_hidrogen_generator)
- [72] Schiller Róbert: Szuperkritikus víz és hidrogén gazdaság. MTA KFKI Atomenergia Kutatóintézet
- [73] [https://www.autoblog.hu/hirek/hidrogenes\\_mazda\\_rx8\\_az\\_utakon](https://www.autoblog.hu/hirek/hidrogenes_mazda_rx8_az_utakon)
- [74] <https://index.hu/gazdasag/penzbeszel/2019/05/10>
- [75] <https://www.hfc-hungary.org/tuzeloanyag-cellak>
- [76] <https://furdancs.blog.hu/2016/09/23>
- [77] <https://www.nrgreport.com/cikk/2020/03/09/a-hidrogenrol-szolhat...>
- [78] <https://raketa.hu/europa-legnagyobb-uzemanyagcella-gyara>
- [79] <https://verde.444.hu/2019/05/31>
- [80] <https://zoldenergia.blog.hu/2019/10/25>

- [81] <https://hfc-hungary.org/2020/01/15>
- [82] <https://igenyesferfi.hu/sebesseg>
- [83] <https://hvg.hu/tudomany/20190319>
- [84] [www.enfo.agt.bme.hu/drupal/node/12478](http://www.enfo.agt.bme.hu/drupal/node/12478)
- [85] Bakács István (2020): Gondolatok a nemzeti energiasztratégia (2019) dokumentumaihoz. / Energiagazdálkodás 2020. 1-2. szám
- [86] Dr. Molnár László (2020): Akadályok a klímaváltozás elleni küzdelem útjában. / Energiagazdálkodás 2020. 1-2. szám
- [87] Venczel Márk, Bicsák György, Rohács Dániel, Rohács József (2017): Hidrogéncella alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata hibrid hajtású kisrepülőgépekhez. / Repüléstudományi Közlemények 2017/3. 253-272
- [88] Kósa Zsigmond (2006): A hidrogén üzemanyagcella. / Budapesti Műszaki Főiskola-Kandó Villamosmérnöki Kar 2006.
- [89] <https://sg.hu/cikkek/tudomany/27929>
- [90] <https://hu.wikipedia.org/wiki/üzemanyagcella>
- [91] [www.alternativenergia.hu/89502](http://www.alternativenergia.hu/89502)
- [92] Lakatos Gergely: Bakteriális partnerek által elősegített fotofermentatív hidrogéntermelés Chlamydomonas algában. PhD. Tézisek. MTA SZBK Biokémiai Intézet Szeged.
- [93] <https://www.ma.hu/autohirek.hu/296211>
- [94] <https://kuruc.info/r/9/110953>
- [95] <https://totalcar.hu/magazin/technika/2015/10/23>
- [96] <https://www.origo.hu/auto/20180601-hidrogen-konferencia-budapest.html>
- [97] <https://zoldenergia.blog.hu/2020/02/21>
- [98] <https://www.vezess.hu/hirek/2020/02/08>
- [99] <https://www.nrgreport.com/cikk/2020/03/24>
- [100] <https://www.radio1hevesmegye.hu/hir>
- [101] <https://www.toyotaklub.hu/2020/03/24>
- [102] <https://www.diverziti.hu/765/hidrogen-megoldas-az-olajkriszise>
- [103] <https://www.alternativenergia.hu/hidrogen-eloallitas-hulladekbol/6692>
- [104] <https://www.goldimodi.com/termek>
- [105] <https://energia.certop.com/2019/03/18>
- [106] <https://www.iparosujsg.hu/mindennapi-innovacio/409>
- [107] <https://hvg.hu/cegauto/20060612>
- [108] <https://zoldenergia.blog.hu/2019/10/25>

- [109] <https://www.nrgreport.com/cikk/2020/02/25>
- [110] <https://www.villanyautosok.hu/2017/06/16>
- [111] <https://pcworld.hu/auto/157387html>
- [112] <https://www.hfc-hungary.org/nkfi-h-energetikai-innovacio-hidrogen>
- [113] <https://autosajto.hu/2020/03/30>
- [114] <https://nrgreport.com/cikk/2020/03/09>
- [115] <https://www.watercleaner.hu/tudastar/tiszta-viz/33-lourdes>
- [116] <https://www.vezess.hu/haszongepjarmu/2012/07/16>

## A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

### 2017.

1.	NÉMETH András, MILÁVECZ Richárd	Iparban használatos vízminőségek
2.	DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István	Mérések a gáziparban
3.	DR. BARNA Lajos, EÖRDÖGHNE DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTÓ Zoltán, DR. BALLA József	A biztonságos ivóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4.	BORBÁS Lajos Dr.	Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5.	BERENCSI Miklós, BEREZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina	Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6.	TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András	A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7.	DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András	Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8.	KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó	A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

### 2018.

9.	BLAZSOVSZKY László	A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10.	CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter	Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11.	NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza	A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és ütügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12.	DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta	Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13.	DR. SZILÁGYI Zsombor	Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14.	S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté	Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15.	DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSÚRÓK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin	Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16.	DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor	Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17.	TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila	Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18.	FENYVESI Zsolt	Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása
19.	GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH	Nagyméretű informatikai beruházásoknál

	József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás	(fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20.	DR. DIVÓS Ferenc	Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21.	DR. KARÁCSONYI Zsolt	Faanyagok tartós szilárdsága
22.	BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula	Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23.	ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András	Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24.	JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső	Vízjogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25.	DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László	Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26.	DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos	Korszerű támszerkezetek tervezése
27.	HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán	Különböző funkciójú épületek klímatechnikája II.
28.	KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint	Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29.	GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz	Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30.	GARBAI László Dr., SÁNTA Róber Dr., JASPER Andor Dr.	A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31.	LADÁNYI Gábor Dr.	Diagnosztika a karbantartásban
32.	MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András	KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)

#### 2019.

33.	BLAZSOVSZKY László	Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34.	DR. SZILÁGYI Zsombor	A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35.	FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj.	Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén
36.	VARRÓ Beáta, DR. KIS András	Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37.	MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György	Munkatér határoló szerkezetek
38.	KORSÓS András, RÁDULY Zsolt	A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39.	GERGELY Edit, DR. BEZEGH András	Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40.	DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr., GERGELY Edit	Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)
41.	GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence	Híddaruk méretezési segédlete (2019.)



42. FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága  
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44. DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45. PRIMUSZ Péter, PhD. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46. NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III.  
Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai rendszereinek tervezése
47. JANCsó Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei  
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48. DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49. JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50. DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51. DR. MÓGA István Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52. DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)  
I. kötet: Konceptió és modell  
II. kötet: Modell illesztése  
III. kötet: Tudástár
53. VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban  
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.

## 2020.

54. DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére
55. DR. SZILÁGYI Zsombor A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában
56. VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57. KÁDI Ottó A gyalogosközlekedés közúti keresztezései
58. MOLNÁR Szabolcs „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei
59. VÁRDAI Attila Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez
60. DR. BEJÓ László Szénlábnyom-elemzés készítése a faiparban

- |     |                                                                                            |                                                                                                                                                     |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 61. | JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső                                                 | Szakmai útmutató vízellátási-művelési tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához                       |
| 62. | FELLEGI Zsóka, KARAFI Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József | Munkagödrök és földművek víztelenítése                                                                                                              |
| 63. | HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor | Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához                                     |
| 64. | DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás                          | Az Informatikai Tervező tervezési segédlete                                                                                                         |
| 65. | NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza                         | Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén                                                                       |
| 66. | LENGYEL István                                                                             | Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)                                                                                    |
| 67. | NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért                                             | Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis                                                                                         |
| 68. | FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely    | Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)                                                                               |
| 69. | DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán                                                             | Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherviselésének optimalizálására |