

# Hidrogéngazdaság: remény vagy valóság?

## Hydrogen economy: hope or reality?

**BORBÉLY Endre**

borbely.endre@kvk.uni-obuda.hu

SZABÓ Rudolf Rejtő Sándor Alapítvány H-1056 Budapest Nyáry Pál u. 5. V/1.  
ingtex@t-online.hu Mob.: +36309245612

### Abstract

To reduce CO<sub>2</sub> emissions, the hydrogen-based economy, which also enables energy storage, offers a promising opportunity to provide continuous electricity with the increasing use of renewable energy sources (wind turbines and solar panels). The pollution-free hydrogen drive of vehicles (fuel cell, high-pressure hydrogen tank, hydrogen fuel filler) is technologically developed. The production of hydrogen from green electricity by hydrolysis and the propulsion of electric vehicles are dynamically developed. The great challenge of the future is the energy utilization and efficiency of the hydrogen drive, the economy, and the reduction of costs.

**Keywords:** hydrogen, renewable energies, energy storage, electrolysis, fuel cell.

### Kivonat

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésére a megújuló energia-források (szélenergia, napenergia) növekvő arányú hasznosításával a folyamatos elektromos áram biztosításában az energia-tárolást is lehetővé tevő hidrogén alapú gazdaság ígéretes lehetőséget kínál. A járművek környezetszennyezés nélküli hidrogén hajtása (üzemanyag cella, nagy nyomású hidrogén tank, hidrogén üzemanyag-töltő) technológiailag kidolgozott. A hidrogén zöld villamos energiából hidrolízissel előállítását, az elektromos járművek hajtását dinamikusan fejlesztik. A hidrogénhajtás energia hasznosítása, hatásfoka a gazdaságosság, a költségek csökkentése a jövő nagy kihívása.

**Kulcsszavak:** hidrogén, megújuló energiák, energiatárolás, elektrolízis, üzemanyag cella.

## 1. BEVEZETÉS

A technikai fejlődés során használt anyagok és energia-források lényegesen változnak (1. ábra).



1. ábra, Szerkezeti anyagok, energia-források fejlődése

Az elmúlt évszázadban az energia nagy részét a fosszilis energia-hordozók (szén, olaj és gáz) elégetésével biztosították. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során keletkező CO<sub>2</sub> kibocsátás kb. 50 GT/év, ami átlagosan 6 tonna/fő/év-nek felel meg. A Föld légkörében, tengerekben növekszik a CO<sub>2</sub> üvegházhatású gázok koncentrációja, ami hozzájárul a felmelegedéshez és a klímaváltozáshoz. A Föld népességének növekedésével, a technikai fejlődésével, az energia igény is növekszik. Az energia-fogyasztás növekedés üteme a berendezések fajlagos energia-fogyasztás csökkentésével részben mérsékelhető. Napjainkban az energia árak drámaian növekedése az energia-politika újra gondolását, gyökeres változtatását teszi szükségessé.

## 2. ENERGIA-FORRÁSOK

Az energia felhasználás/hasznosítás három fő területe: hő előállítása, járművek hajtása és villamos energia-termelés. Az elektromos energia kiemelt jelentőségű, széleskörű elterjedése nagyban hozzájárult az ipar dinamikus növekedéséhez. A fosszilis-energiához (főleg a szén és a gáz nagy hányadát) is elektromos áram előállítására hasznosítják. Az elektromos hálózat kiváló hozzáférhetősége kényelmes, sokoldalú használatot tesz lehetővé, viszont a nagy volumenű rövidebb hosszabb idejű tárolása csak részben megoldott.

Az energia-igény növekedés kielégítése, a felmelegedés mérséklése a fosszilis energiahordozók túlmenően a villamos áramot gyors ütemben növekvő megújuló energiákból (víz-, szél-, napenergia) nukleáris erőművekben állítják elő (ábra).

A különböző rendelkezésre álló energia-forrásokból villamos-energia előállítás hatásfokát a 2. ábra tartalmazza.

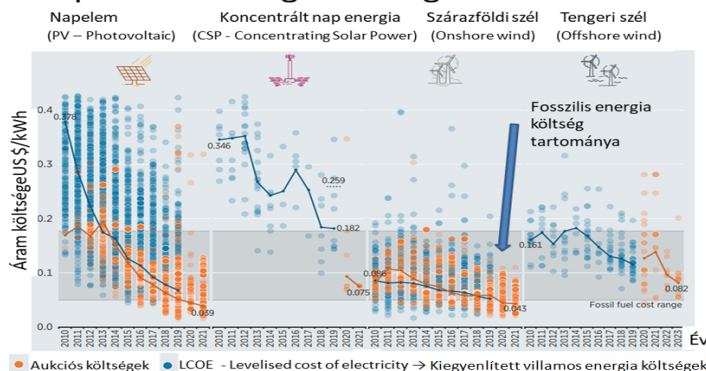
Különböző energia-forrásokból kinyerhető energia-hatásfok



2. ábra, Különböző energia-források előállított villamos energia-hatásfok

A rövidebb és hosszabb időszakon belüli jelentősen változó fogyasztási igényeknek megfelelően az elektromos energiának minden időben rendelkezésre kell állnia. A nukleáris energiával az előállított áram állandó, míg a fosszilis energia-hordozók tárolása megoldott. A gázturbinával előállított elektromos áram termelése a felhasználási igényekhez rugalmasan, gyorsan szabályozható. A megújuló energiaforrások az intenzív fejlesztéseknek köszönhetően a villamos energia előállítási költségei csökkenésével a jövőben gyorsan növekvő arányra számíthatnak. A nap- és szélenergia kWh költségének alakulását a 3. ábra szemlélteti.

Nap- és szélenergia költségei csökkenése



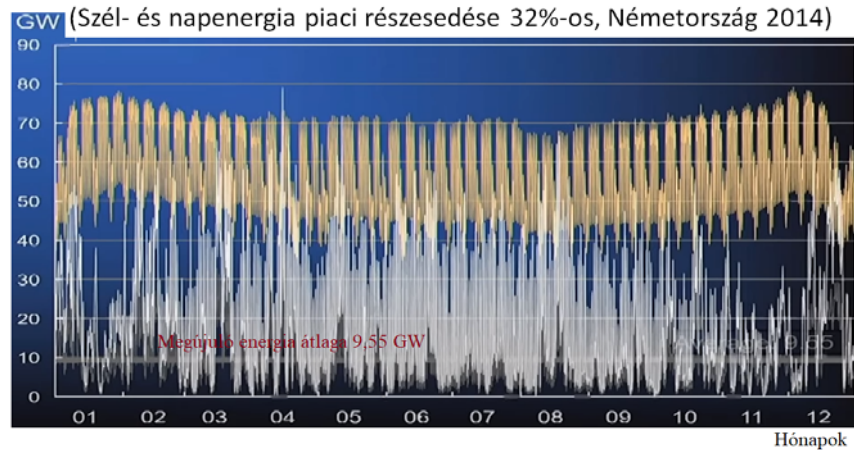
3. ábra, Fosszilis-, nap- és szélenergia költségei alakulása

A megújuló erőforrásokból termelt elektromos villamos energia gyors változás okozta ingadozás (felhőktől függő napelem energia-termelés, szélesebbég változása, a széllokések a szélturbina esetén) a hálózatra csatlakozás előtt elektromos tárolókkal csökkenthető.

A gyorsuló ütemben növekvő megújuló elektromos energia-források évszak-, napszak-, időjárás-függők, emiatt az elektromosság előállításán túlmenően az energia tárolása a jövő nagy kihívása.

A megújuló energia-termelés esetén a hálózatba betáplált energia nagyon ingadozó, nullától a hálózati fogyasztás „túllövését” is okozhatja (4. ábra).

### Energia-előállítás fogyasztás éves változása



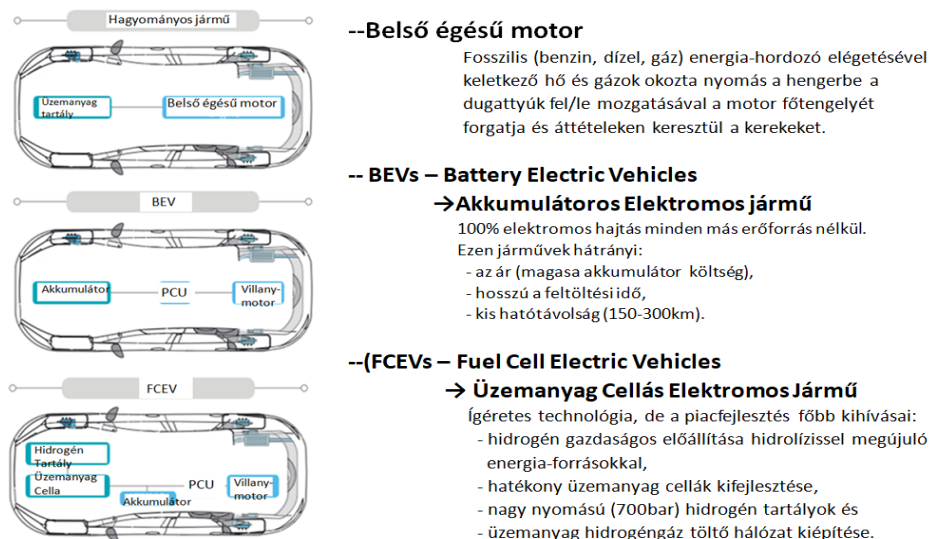
4. ábra, Energia-előállítás, -fogyasztás változása

A megújuló energiák gazdaságos előállítása mára reális alternatíva, az energia-forrásokon belüli túlzott aránya a folyamatos áram biztosítása tekintetében azonban még megoldásra vár. Az energia-igények és az előállítási lehetőségek közötti kapacitási és időbeli kiegyenlítésére az energia tárolása kulcsfontosságú. Az energia-tárolás egyrészt a gyors ütemben bővülő lítium-ion akkumulátorokkal, az elektromos autók hálózatra kapcsolásával, másrészt a „zöld” hidrogén előállításával és tárolásával, a járművek elektromos hajtására használatával az elkövetkező években nagy reményeket fűznek. Napjaink fő célkitűzése az elektromos áram „electrification” széleskörű alkalmazására, a fejlesztésekre a számottevő pénzügyi forrásokat fordítanak.

## 3. JÁRMŰVEK

A járművek, a közlekedő eszközök (kivétel a sínhez kötöttek) napjainkban ma még alapvetően fosszilis energiával működnek. A meglevő benzin, dízel és gáz hajtású motorok javításán túlmenően az e-üzemanyagra (szintetikus) áttérésen túlmenően az akkumulátoros és a hidrogén üzemanyag cellás villamos járművek (vehicle electrification) kerültek a fejlesztések célkeresztjébe (5. ábra).

## Járművek hajtási rendszerei



5. ábra, Személyautó hajtási megoldások

A hagyományos járművek (Otto-, Diesel- gáz üzemű motorok) hajtására a fosszilis energiahordozók égetése által felszabaduló hőt, gázok nyomásával a munkahengerben a dugattyút mozgatva hasznosítja. A különböző fosszilis energiahordozók égetése során keletkező eltérő mennyiségű  $\text{CO}_2$  keletkezik, a káros anyag kibocsátás gázhajtásra áttállással mérsékelhető (1 kWh 350 g  $\text{CO}_2$ ).

A személyautók területén a környezetvédelmi intézkedések szigorodnak, 2021-től a széndioxid kibocsátásra 95 g  $\text{CO}_2/\text{km}$  az előírás. A ma gyártott autók széndioxid kibocsátása ezen értékhatár feletti, különösen a nagyobb teljesítményű, nagyobb önsúlyú (tömegű) autók esetén.

A megújuló energiaforrást használó elektromos hajtású járművek okozta szennyeződés számottevően csökkenthető. Az akkumulátorok fajlagos energiatárolás-kapacitása azonban kicsi, ami megnöveli a járművek tömegét. Elektromos autó esetén 100 km  $\rightarrow$  10-20 kWh  $\sim$  100 kg az akkumulátor tömege, míg üzemanyag cella esetén 100 km  $\rightarrow$  1 kg  $\text{H}_2$  a fogyasztás, míg a tartály tömege 15 kg + az üzemanyag cella.

Az elektromos járművek hatótávolsága (150-300 km), a töltési idő az elvárásoknak ma még nem felel meg. Az elektromos jármű hajtás területén az akkumulátorok és az elektromos töltés intenzív fejlesztésével és gyors ütemű bevezetésével a közeljövőben – különösen a térségünkben – jelentős előrelépés várható. Az autók egyre fejlettebb elektronikus vezérlésén túlmenően az autók tömegének csökkentése is döntő hatású az üzemanyag fogyasztásra, a  $\text{CO}_2$  kibocsátásra.

Az elektromos járművek akkumulátorok okozta tömeg-növekedését, az energia-felhasználásának csökkentését az autó karosszéria kompozit anyagok használatával részben ellensúlyozható.

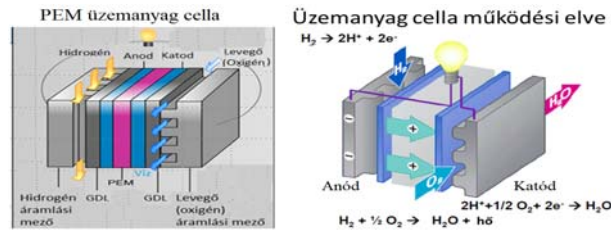
## 4. HIDROGÉN TÁROLÁSA, ELŐÁLLÍTÁSA

A hidrogén a Föld számos vegyületében nagy mennyiségben, kötött formában fordul elő. A hidrogén színtelen, szagtalan, íztelen, nem mérgező, egy vegyértékű, gyúlékony, kétatomos ( $\text{H}_2$ ), nagyon kis sűrűségű 1 bar nyomáson  $\rho = 0,1 \text{ kg/m}^3$ , 700 baron pedig  $\rho = 42 \text{ kg/m}^3$  gáz.

A hidrogént napjainkban is – nagy mennyiségben (nagyjából 65 millió tonna/év) állítják elő a fosszilis tüzelőanyagokból "black" környezetszennyező eljárással kb. 2 EUR/kg áron, vagy a földgáz bontásával. Napjainkban törekvés a „green” hidrogént a megújuló energiák (szél- nap) túltermelési szakaszában vagy a nagy hőmérsékleten üzemelő nukleáris erőművek hulladék hőjének hasznosításával környezetszennyezés nélkül a víz bontásával (elektrolízissel) előállítani. Jelenleg a hidrolízissel előállított  $\text{H}_2$  ára háromszor nagyobb (6 EUR/kg) a fosszilis eljáráshoz képest, de várhatóan az eljárási költségek a megújuló energiák csökkenő árát követik.

A hidrogén nagy égéshőjű, széles koncentráció tartományban éghető, robbanékony, továbbá gyorsan diffundáló, jól keveredő gáz. Ha gyártási eljárása során a hidrogén véletlenül kikerül a környezetbe, nem okoz maradandó környezetszennyezést. Fűtőértéke az ismert elemek közül az egyik legnagyobb, tömegre vonatkoztatva 39,7 kWh/kg, fűtőértéke közel 3-szorosa a benzinének, kb. 2,4-szerese a földgázénak és a lítium-ion akkumulátor tárolt specifikus energiáját nagyságrendekkel (0,16 kWh/kg) felülmúlja.

A **FCEV** (Fuel Cell Electric Vehicle) üzemanyag cella hajtású autókban a hidrogén és az oxigén kémiai energiáját égetés és szennyeződés nélkül elektromos energiává alakítja, miközben hő és víz keletkezik. A **PEM** üzemanyag (hidrogén) cella (PEM – Proton Exchange Membrane) működését az 6. ábrán követhetjük nyomon.



6. ábra, Üzemanyag cella működési elve

Az üzemanyag cellában a hidrogén atom a platina katalizátor anódon elektronra és protonra válik szét. Az elektron külső áramkört hoz létre, míg a proton a katódnál bevezetett levegő oxigénével víz keletkezik. A gázok bevezetéséhez és a víz elvezetéséhez elengedhetetlen a porózus, vékony, egyenletes karbonizált nemszított szén kelme.

A hidrogénhajtáshoz a  $H_2$  gázt nagy nyomáson ( $p=700$  bar) tárolása, biztonságosan töltése a hidrogén hajtási rendszer költsége kb. 40%-át teszi ki. A hidrogén ( $H_2$ ) molekula kis méretű, a tartályfalon való áthatolás megakadályozására nagyon szigorúak az előírások.

Időközben a hidrogén vízből hidrolízissel előállítás, a hidrogén tárolására kifejlesztett tartályokkal és az üzemanyag cellás járműhajtás műszaki nehézségeit sikerült leküzdeni, megnyitva a kaput a hidrogén alapú gazdaságra való áttérésre.

A korábban aktuálisá váló gáztartályok gyártása a jövőben a nagyobb nyomású hidrogén tartályok gyártásával egészül ki, a IV osztályba sorolt tartályok gyártása dinamikus növekedése várható. A hidrogén tartály nagy mechanikai szilárdságát a szén-szál erősítésű polimer (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Polymer) kompozit adja. A 700 bar nyomású  $H_2$  tartályhoz hidrogén kilogrammonként kb. 10 kg szén-szál szükséges.

## 5. HIDROGÉN HAJTÁSÚ JÁRMŰVEK, TÖLTŐÁLLOMÁSOK

Hidrogén-hajtás a személyautóktól a repülőgépekig minden közlekedési eszköz esetén intenzíven fejlesztik.

A töltő berendezés bonyolult számítógép vezérlésű művelet. A mechanikai kóddal ellátott töltőpisztoly végén infravörös kommunikációs kapcsolat van, amely a jármű számítógépével lép kapcsolatba. Az első kapcsolat felvételekor a pisztoly egy nyomás löketet kap a szelepek nyitására. A következő löket a tartályban lévő gáz maradék nyomását megméri. Ennek alapján a vezérlő számítógép megbecsüli a tartályban lévő hidrogén mennyiségét, és a tartályba tölthető hidrogén mennyiségét. Ezt követi az úgynevezett rámpás töltés, egy nyomáslöket után rövid szünet következik, miközben a 700 bar-os töltésnél egy hűtő berendezés a gázt  $-40$  °C-ra lehűti, majd a további löketek folytatódnak a tartály teljes feltöltéséig.

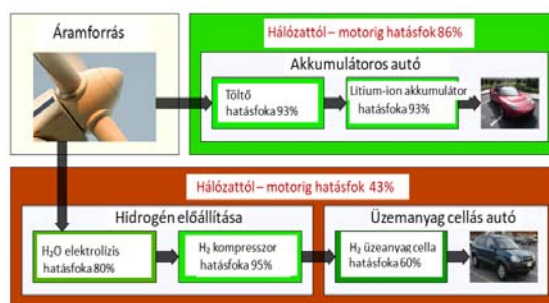
A tartályba sűrített gáz hőmérséklete nem emelkedhet  $85$  °C fölé. Hasonló a töltési folyamat a 350 bar-os autóknál is azzal a különbséggel, hogy a hűtő hőmérséklete csak  $-20$  °C fokra.

A hidrogén töltőállomások kiépítése – hasonlóan az elektromos hajtású autókhoz – előfeltétele a hidrogén hajtású járművek elterjedésének.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A közvetlen elektromos (akkumulátor) és a hidrogén (üzemanyag cella) hajtás esetén a hatásfokok alakulását a 7. ábra szemlélteti.

Akkumulátoros és üzemanyag cellás autó hajtás hatásfok összetevők

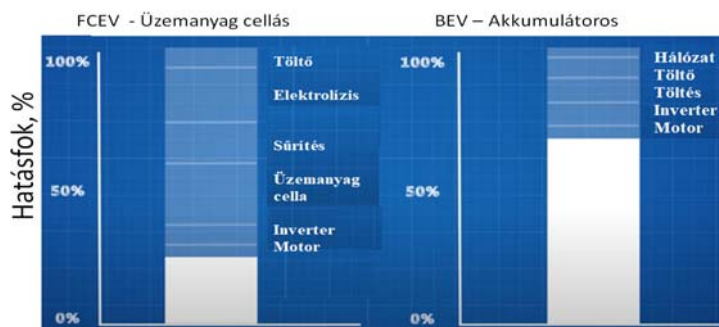


7. ábra, Akkumulátoros és hidrogéncellás autó hatásfok összetevői

Az elektromos hajtáson belül a hidrogén üzemanyag cellás hajtás előnye az akkumulátoroshoz viszonyítva, hogy a nagyobb mennyiségű energia a jármű viszonylag kisebb súlynövekedésével tárolható, a járművek nagyobb hatótávolsága és az üzemanyag gyors töltése (3 perc). Az elkövetkező években az üzemanyag cellák alkalmazása járművek (személyautó, teherautó, busz, mozdony, hajó, repülő) területén a bevezetését tervezik.

Az EU rendelete szerint a klímaváltozás mérséklése is elsődleges szempont. A töltőállomások az úthálózati csomópontokban a hidrogént a főleg rendelkezésre álló megújuló energiával (napelem, szélenergia) ivóvízből kívánják megvalósítani. A légkör melegedésének megakadályozásában ígéretes megoldás a hidrogén gazdaságra való áttérés, ami nagyban fellendíti a tiszta energiát előállító erőművek építését. A hidrogénhajtású elektromos járművek kipufogójából - amit általában autók tetején helyeznek el - a fennmaradó kilépő levegő és vízpára nem rontja a levegő minőségét. Elemzők szerint az autók piaca a jövőben jelentősen átalakul, 2030-ra nagyjából kiegyenlített, 25-25-25-25%-os lesz az olcsóbb benzines, a középkategóriás hibrid és a nyilván az átlagnál drágább tisztán elektromos és üzemanyag cellás autók aránya, ill. azoknak hibrid változatai. A magyar energiapolitika köszönhetően a hazai villamos energiatermelés 70%-a CO<sub>2</sub> kibocsátás mentes lesz. A hidrogén akkor tekinthető zöld, megújuló energiának, ha az elektrolízishez megújuló (zöld) erőművek termelik az egyenáramú villamos energiát (8. ábra).

Villamos áramból kiindulva a hidrogén és az akkumulátoros elektromos jármű hajtás hatásfokának összehasonlítása



8. ábra, Villamos áramból a hidrogén és az akkumulátoros jármű hajtás hatásfoka

Villamos energiából kiindulva a hidrogén hajtású járművek hatásfoka lényegesen kisebb az elektromos hajtásokhoz viszonyítva. A fosszilis energia árak alakulásától, a környezetvédelmi szempontok érvényesítésétől, az olcsó nukleáris és az egyre olcsóbb megújuló energia árak, az elektromos autók fejlesztésektől, az energia tárolásától, a hidrogén gazdaság megvalósulása. A tervezett jövőbeni bevezetés, a fejlesztés optimális megvilágítást kapott. Napjaink tapasztalatai alapján megállapítható, hogy a mai gazdaság, az életkörülmények fenntartásához az energia létszükséglet, aminek beszerzési helye, előállítása, tárolása hasznosítása egyre több alapkra építsen.

A hidrogénhajtású jármű technológiailag kidolgozott, a széleskörű gazdaságos alkalmazás előtt még számos a megoldandó feladat.

**Felhasznált irodalom**

- [1] Ginger Gardiner: Will the Airbus-CFM H2 flight demonstrator use metal or composite tanks? CompositeWorld 3/8/2022
- [2] CW COLLECTIONS CompositeWorld: Composites in Hydrogen Storage
- [3] Deloitte China Fueling the Future of Mobility Hydrogen and fuel cell solutions for transportation
- [4] Ginger Gardiner: Composites in Hydrogen Storage CompositesWorld 2021
- [5] Ginger Gardiner: Carbon Fiber Opportunities in the Hydrogen Economy CompositesWorld
- [6] Szabó Lóránt: Hidrogén a jövő zöld energiája, Tudományos műszaki és művészeti közlemények 2021 pp. 15-25., 11 p. (2021)
- [7] Lóránt Szabó: The hydrogen is hope and reality, 12th ICEEE–2021 International Conference “Global Environmental Development & Sustainability: Research, Engineering & Management”: ICEEE 2021 Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem (2021) pp. 413-420., 8 p.