

Szén István: A hidrogén jelentősége a megújuló energiaforrások integrációjában valamint szerepe a fenntartható energetikában és a „zöld iparban”.

Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar - Elektrofizika Intézet, Hidrogéntechológiák és Ipari IoT Tanszék (HTT), H-1034, Budapest, Bécsi út 94-96/A, Szőlő u. 4. szen.istvan@uni-obuda.hu

A cikk elején röviden összefoglalom az EU és hazánk motivációját és célkitűzéseit, majd ismertetem a hidrogénenergetikában rejlő lehetőségeket. Külön figyelmet kívánok szentelni a megújuló energiaforrások integrációjának lehetőségére, hiszen a hazánkra is jellemző nagyarányú napelemes erőművi penetráció számos megoldandó feladatot ad a hazai szakembereknek, mely megoldásokra egy megoldás lehet a “zöldhidrogén” gyártás. A hidrogén és a hozzá kapcsolódó értéklánc megjelent az iparban, a közlekedésben és a villamos energetikában, de számos országban már bizonyos háztartási eszközök is alkalmasak a hidrogén – mint energiahordozó – fogadására és átalakítására. Cikkemben és az előadáson egy átfogó képet szeretnék bemutatni az előttünk álló technológiáról valamint az Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon folyó oktatásról és kutatásról

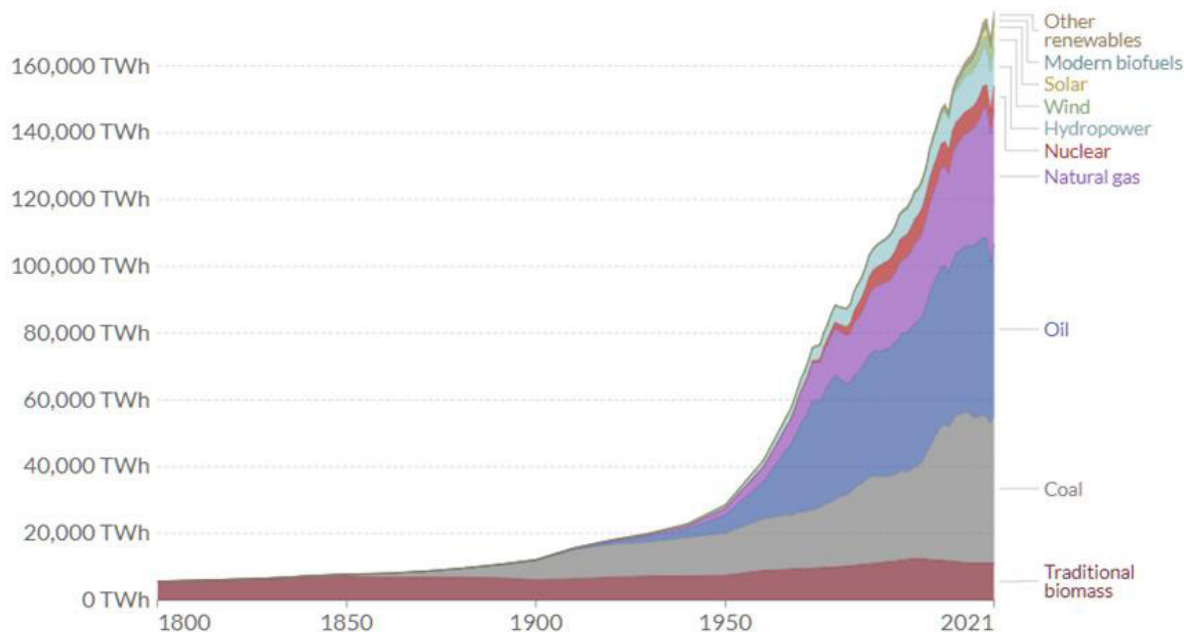
Keywords: hidrogén, energiastratégia, hidrogénenergetika, zöld hidrogén, megújuló energiaforrások, oktatás

1. Bevezetés, globális problémák

Az emberi létezés egyik alapja az energia. Az energiaforrások hasznosítása, az energia kinyerése elválaszthatatlanul kapcsolódnak az emberi fajhoz, az életben maradásunkhoz. Kezdetben az emberiség energiafelhasználása fenntartható volt, ami következik abból, hogy a népesség létszáma ideális volt és nem voltak olyan tevékenységei az embernek, ami globális szinten veszélyeztetné azt az érzékeny harmóniát és szimbiózist ami az ember és környezete között évszázadok alatt kialakult.

Az ipari forradalmat követően az egyensúly felborult. Az ipari méretű termelés feltétele lett az ipari méretű “energiakinyerés”. A 19. századtól a primer energiahordozók kitermelése és felhasználása gyorsuló ütemben növekszik (1. ábra). A kockázatos ütemben növekvő és “fejlődő” populáció egyre több energiát használ fel. Napjainkban a 8 milliárd ember, éves szinten kb. 14 000 Mtoe energiát emészt fel, melynek döntő része – több mint 80% fosszilis energiaforráson alapul. Egyértelmű, hogy hosszú távon, ilyen arányú igények mellett ez a fosszilis primerenergia-forrás igény fenntarthatatlan.

Az emberiség jövőjének szempontjából fontos a károsanyag kibocsátás mérséklése, az üvegházhatású gázok kibocsátásának redukálása és a fosszilis üzemanyagoktól való függőségünk csökkentése. A megújuló energiaforrások használata számtalan ponton előnyösen befolyásolhatja a fenti folyamatokat, de azok időjárásfüggősége, sztochasztikus energiatermelési tulajdonságaik, helyhez kötött, nagy kiterjedésű telepítési területük további innovatív és mobilizálható megoldások fejlesztését igénylik. Véleményem szerint, az energiakonverzió és –szállítás egyik legmeghatározóbb eleme lehet a hidrogén, mely azon túl, hogy nagy reményekkel kecsegtető energiahordozó, az energiaigénnyel rendelkező szektorok közötti kapcsolatot biztosító elem is lehet.



7. Ábra Globális primerenergia-fogyasztás, forrás szerint [1]

2. A Hidrogén jelentősége tulajdonságai

A hidrogénnel kapcsolatos technológiák (elektrolizáló, kompresszor, tüzelőanyagcella, hidrogéntárolás, hidrogén szállítás és - felhasználás) gyakorlatilag készen állnak a felhasználásra, de piaci szempontból néhány paraméternek a fejlesztése még szükséges, annak érdekében, hogy a technológia gazdaságosan működtethető legyen és szerepet kapjon a körforgásos gazdaságban.

A hidrogén nem üvegházhatású gáz, nem toxikus, nem rákkeltő és a környezetbe kerülve nem okoz semmilyen ökológiai kárt. Elvileg korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll, továbbá energiataralma kimagasló: $\sim 120 \text{ MJ/kg}$. A hidrogén sűrűsége rendkívül alacsony, a térfogategységre jutó energiasűrűsége sajnos csekély, s ebből a tényből adódik, hogy felhasználása során a jelenlegi gyakorlatban vagy cseppfolyósítják ($8,5 \text{ MJ/l}$) vagy sűrítik 200-700 barra ekkor energiataralma kb.: $3\text{-}5 \text{ MJ/l}$.

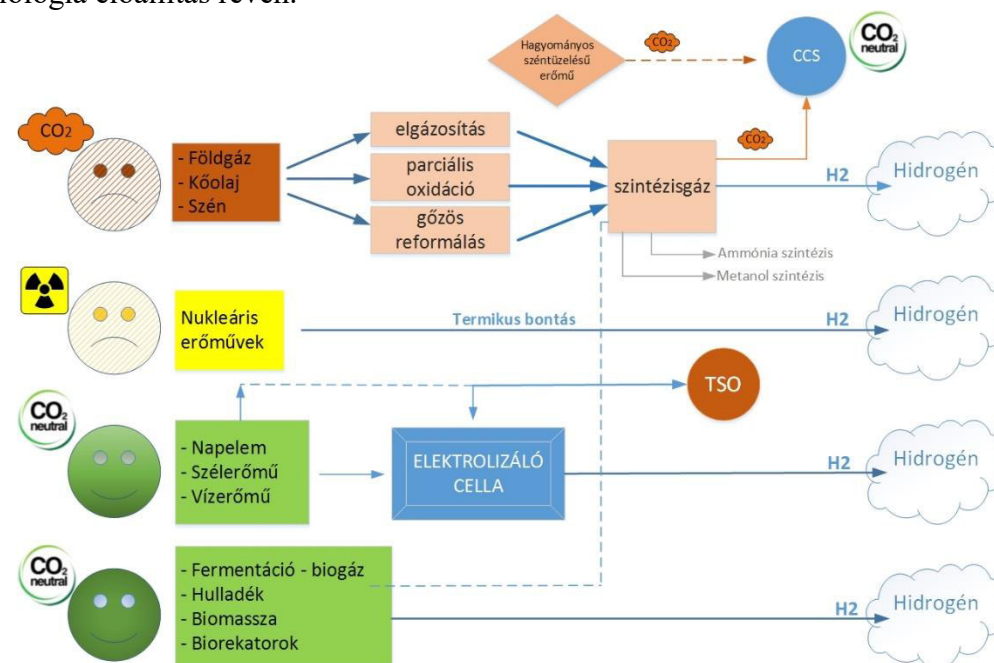
A hidrogén cseppfolyósítása -253°C -on történik. A cseppfolyósítás meglehetősen nagy energiabefektetést igényel, a hidrogén energiataralmára vetítve a folyamat energiaszükségletét, azt mondhatjuk, hogy a hidrogén energiataralmának kb. 30%-át „elveszíti”

Az atmoszferikus nyomású hidrogén kompressziójához szükséges energia természetesen függ a végső nyomástól és a komprimálás technológiájától, de ha jelenlegi technikai színvonalat vesszük alapul, akkor a hidrogén a sűrítési folyamat során kb. 9-15%-át veszíti el energiataralmának.

Hidrogénelőállítás tekintetében négy fő módszert és azok speciális változatait különböztetjük meg (3. ábra), így a hidrogén előállítás történhet:

- fosszilis energiaforrásokból,
- nukleáris folyamatok révén,

- megújuló energiaforrás alapon – elektrolízis segítségével,
- biológia előállítás révén.



8. ábra: A hidrogénelőállítás módszerei [2]

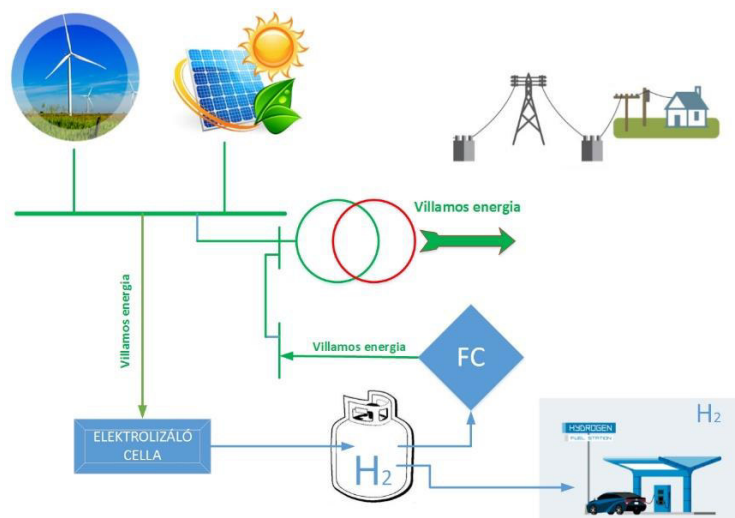
Ha megvizsgáljuk a világ hidrogéntermelését, sajnos jelentősen egyszerűbb képet kapunk, ugyanis a hidrogén túlnyomó többségét (96%-át) napjainkban fosszilis energiaforrás bázison állítják elő – „barna hidrogén” - és mindössze a világon előállított hidrogén kb. 4%-a származik közel karbonsemleges forrásból – „zöld hidrogén” [2].

Könnyedén beláthatjuk, hogy az említett fosszilis energiahordozókra épülő hidrogén infrastruktúra környezetterhelő, nem válthatja be a hozzá fűzött környezetvédelmi reményeket. Továbbá figyelembe véve azt is, hogy a fosszilis források végesek megállapíthatjuk, hogy az energiabiztonság és fenntarthatóság felé támasztott elvárásaink nem valósulnak meg.

Nyilvánvalóan olyan hidrogénelőállítási módot kell preferálnunk, mely környezetkímélő és fenntartható, ugyanakkor nem szabad megfeledkeznünk a kapcsolódó technológiák gazdasági aspektusairól sem.

Alapvetően két domináns megújuló energiaforrás integrálható hatékonyan, a szélenergia és a naperenergia. A hidrogénnel történő integráció azon túl, hogy karbonmentes, zöld hidrogént eredményez, további előnnyel is rendelkezik. A villamosenergia-rendszer stabilitását és szabályozhatóságát tudjuk elősegíteni esetleg biztosítani az alternatív energiaforrásokkal való integrációval.

Az időjárásfüggő – sztochasztikus - termelők, a hidrogént energiapufferként való használatával kiszabályozhatóvá válnak, az eredő energiafelhasználásban az időjárás hatásai tompíthatók.



9. ábra: A "zöld hidrogén" felhasználás elvi vázlata [2]

3. A fontosabb EU intézkedési csomagok

Napjainkban a „Párizsi Megállapodás” a nemzetközi és európai uniós klímapolitika meghatározó eleme, bár kidolgozása 2015-re tehető, jelentősége elvitathatatlan. A világ országai a megállapodás elfogadásával kifejezték együttes szándékukat, hogy közösen tesznek lépéseket, annak érdekében, hogy sikeresen fellépessenek az éghajlatváltozással szemben. A 2016. november 4-én hatályba lépett megállapodás célja, hogy a globális átlaghőmérséklet emelkedését jóval $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ fok alatt tartsa, törekedve arra, hogy a hőmérséklet-emelkedés az iparosodás előtti átlaghőmérséklethez képest a $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ fokot ne haladja meg felismerve, hogy ez jelentősen csökkentené az éghajlatváltozás kockázatait és hatásait. [3]

A Párizsi Megállapodást követő 3. évben, 2018-ban jelent meg A „Tiszta bolygót mindenkinek – Európai hosszú távú stratégiai jövőkép egy virágzó, modern, versenyképes klímasemleges gazdaságról” című stratégia, A hosszútávú stratégia legfontosabb elemei, pillérei:

- Az energiahatékonyság előnyeinek maximalizálása, épületek energetika korszerűsítése,
- A megújuló energiaforrások alkalmazása a dekarbonizáció érdekében,
- A tiszta mobilitás megvalósítása,
- A versenyképes uniós ipar és a körforgásos gazdaság,
- Intelligens hálózati infrastruktúra és a szektorok közötti kapcsolat kialakítása,
- A fennmaradó CO_2 -kibocsátás kezelése szén-dioxid-leválasztással és –tárolással.

2019-ben az új Európai Parlament az Európai Bizottság elnökének megválasztását ahhoz kötötte, hogy az elnök mutasson erős klíma- és környezetpolitikai ambíciót. 2019. december 11-én megjelent az Európai Zöld Megállapodásról szóló bizottsági közlemény [4]. A Zöld Megállapodás szerint ahhoz, hogy az Európai Unió 2050-re klímasemlegessé válhasson, létre kell hozni a megfelelő energetikai infrastruktúrát, támogatni kell az innovatív technológiák térnyerését, mint például a smart grid koncepció és hidrogénhálózatok.

Az Európai Bizottság 2020. szeptember 17-én megjelentette „Az EU 2030-ra vonatkozó éghajlatvédelmi törekvéseinek fokozása – Beruházás a klímasemleges jövőbe az európai polgárok érdekében” című bizottsági közleményét, majd 2021. július 14-én az Európai Bizottság elfogadta a „Fit for 55” jogalkotási javaslatcsomagot az európai zöld megállapodás részeként, amelynek célja, hogy megerősítse az EU globális klímavezető pozícióját. A csomag célja a meglévő jogszabályok korszerűsítése az EU 2030-ra vonatkozó éghajlat-politikai céljával összhangban, és új szakpolitikai intézkedések bevezetése, amelyek elősegítik a gazdaságban, a társadalomban és az iparban szükséges átalakuló változások megvalósítását a klímasemlegesség 2050-ig történő eléréséhez, valamint ennek támogatására, a nettó kibocsátás csökkentésére. legalább 55% (1990-hez képest) 2030-ra. A magyar kormány a megjelenést követően a vétó lehetőségét lengette be.

A Bizottság kiemelt hangsúlyt fektetett a hidrogénre (főképp a megújuló alapú, zöldhidrogénre), amely álláspontja szerint elengedhetetlen az ipar dekarbonizációs folyamatainak eléréséhez. Ugyancsak kiemeli a hidrogén szerepét a közlekedési szektorban, továbbá fejlesztendő területeknek tekinti az infrastruktúra kiépítését, valamint a tárolási, szállítási lehetőségek fejlesztését.

Az EU-s intézkedési csomagok, hidrogént érintő legfontosabb pillérei és azok ütemezése:

I. fázis (2020 – 2024):

- a cél: a hidrogénelőállítás zöldítése,
- a hidrogén iránti kereslet felfuttatása, a hidrogén-ökoszisztéma alapjainak megteremtése,
- EU szinten 6 GW (megújuló alapú villamos energiát felhasználó) elektrolizáló kapacitás létesítését,
- 1 millió tonna/év zöld hidrogén előállítása.

II. fázis (2025 – 2030):

- a hidrogén, az integrált módon az energiarendszer részévé válik,
- Létre jön az egységes, Európai szintű hidrogénpiac,
- 2030-ra 40 GW elektrolizáló kapacitás EU szinten,
- 10 millió tonna zöld hidrogén előállítása éves szinten,
- a hidrogén versenyképessége a közlekedésben és a vasgyártásban,
- a hidrogén részt vesz a villamosenergia-rendszer szabályozásában.

III. fázis (2030- ...):

- a hidrogén alapvető szerepet kap az európai energetikai rendszerben,
- a megújuló alapú hidrogén-előállítási technológiák kiforrottá, széles körben alkalmazottá és versenyképessé válnak,
- a támogatások csökkennek, majd megszűnnek
- a hidrogén komoly szerepet játszik a nehezen dekarbonizálható ipari ágazatokban is.

A világ és az EU legnagyobb megdöbbenésére 2022. február 24-én Oroszország megtámadja Ukrajnát, melynek súlyos következményei lesznek az EU energiapolitikáját illetően is, így 2022. május 18-án Az Európai Bizottság előterjesztette a REPowerEU tervet, amely az Ukrajna elleni orosz invázió okozta nehézségekre és globális energiapiaci zavarokra reagál. Európa energiarendszerének átalakítása két ok miatt sürgető:

- meg kell szüntetni az EU orosz fosszilis tüzelőanyagoktól való függését, hiszen Oroszország gazdasági és politikai fegyverként használja a tüzelőanyagokat, amelyek évente közel 100 milliárd euróba kerülnek az európai adófizetőknek,
- továbbá kezelni kell a klímaválságot.

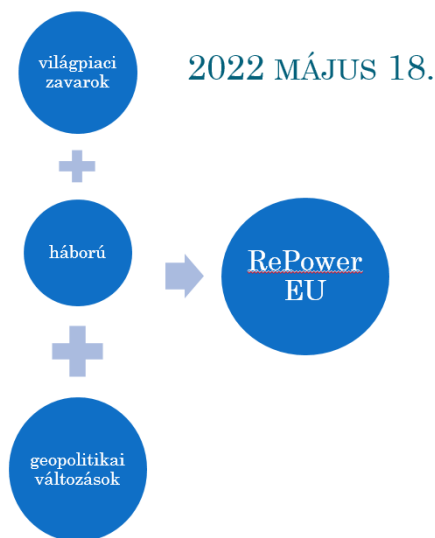
A REPowerEU tervben foglalt intézkedések a következőkkel segíthetik elő a törekvéseket: energiamegtakarítás, az energiaellátás

diverzifikálása, valamint a megújuló energiaforrásokból előállított energia felgyorsított bevezetése annak érdekében, hogy mielőbb velük lehessen helyettesíteni a fosszilis tüzelőanyagokat a háztartásokban, az iparban és a villamosenergia-termelésben.

REPowerEU hatása a hidrogénszektorra:

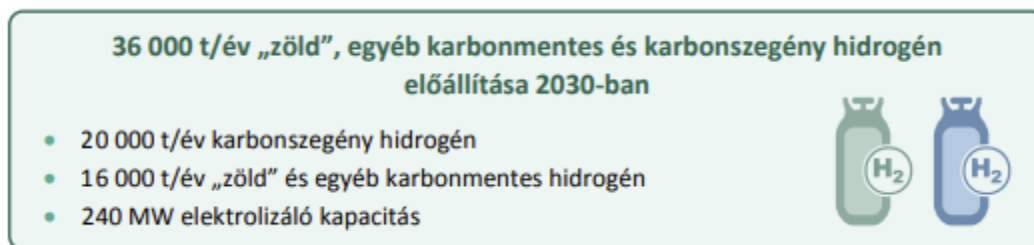
(RFNBO - **R**enewable **F**uels of **N**on **B**iological **O**rigins: Nem biológiai eredetű megújuló üzemanyagok)

- 10 millió tonna zöld hidrogéntermelés az EU-ban 2030-ra
- + 6 millió tonna import
- + 4 millió tonna import ammónia vagy egyéb megkötött formában
- 65 GW vízbontási kapacitás kiépítése 2030-ra, a korábbi 40 GW-hoz képest
- 50% helyett 70% RFNBO kötelezettség az iparban 2030-ra
- 2,6% helyett 5,7%-os RFNBO kötelezettség a közlekedési szektorban



4. Magyarország intézkedései, fontosabb projektjei

Magyarországon, a kormány, 2021. június 6-án tette nyilvánossá a hazai hidrogéntechológiai irányelvet: „Magyarország nemzeti hidrogénstratégiája” [5], mely összhangban van az Európai célokkal, így a hazai szürke hidrogén (magas karbonintenzitás jellemzi) előállítását vissza kell szorítani és ezzel a techológiával szembe a zöld hidrogén termelést kell előtérbe helyezni, így a megújuló energiaforrások integrációja is hatékonyabban valósulhat meg, s mindezek mellett a villamosenergia-rendszer stabilitása is fokozható.

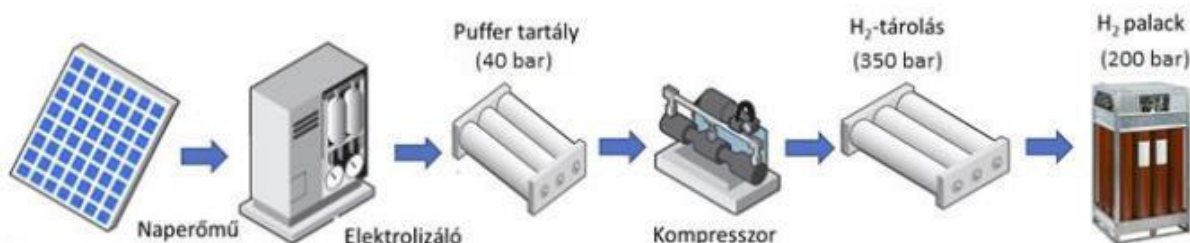


10. Ábra: Akcióterv, forrás: Magyarország nemzeti hidrogénstratégiája [5].

Hazai szinten, a Zöldgazdaság Fejlesztési Rendszer (ZFR) pályázati forrásai és magántőkealapok bevonásának hatására, 2020-21-ban aktív pályázati és szakmai munka kezdődött, melynek eredménye hogy Magyarországon 2023-ra várható az első, zöldhidrogén beruházás lezárása és a hidrogéntermelés megkezdése. A projekt Bükkábrányban zajlik és várhatóan a próbaüzemek 2023. év első felében indulnak.



Bükkábrányban üzemel Magyarország egyik legnagyobb (20 MW-os) napelemparkja, amihez egy 1 MW-os PEM elektrolizálócella fog kapcsolódni. Az itt előállított hidrogént nagy nyomáson fogja az üzemeltető tárolni a végfelhasználásig. A beruházások célja egy innovatív elektrolizáló technológia, majd egy nagynyomású hidrogén-palacktöltő rendszer integrációja a helyi naperőművel. A technológián kívül a projekt tudományos és oktatási célokat is szolgál majd. A résztvevő felek: a Bükkábrányi Fotovoltaikus Erőmű Projekt Kft, Szegedi Tudományegyetem és mint szakértő, tanácsadó ezen cikk szerzője.



11. Ábra: A Bükkábrányi Energiapark vázlatos folyamatábrája [6].



12. Ábra: Bükkábrányi naperőmű (32 hektár, 22,5 MW beépített kapacitás)

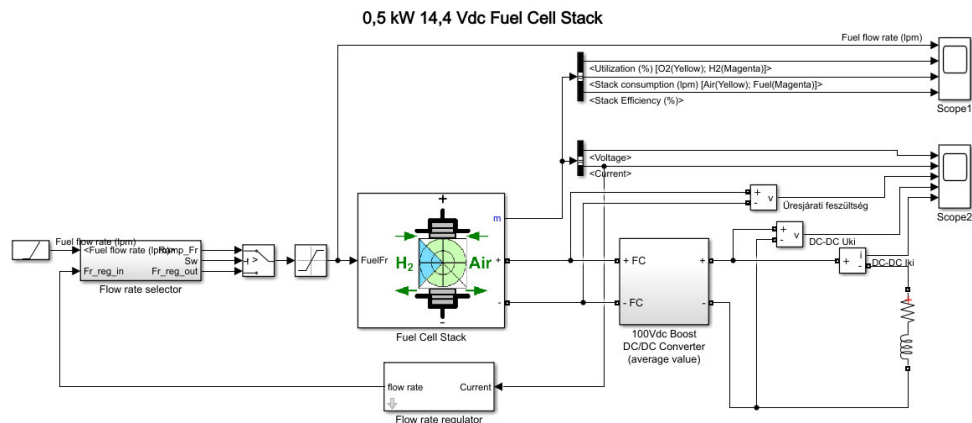
Hazai szinten jelenleg még egy projekt fut (Magyar Földgáztároló Zrt. - Kardoskút), s bár a hidrogén ott is elektrolízis útján jön létre, de ott nem biztosított a zöld hidrogén előállítás, hiszen hálózatról fogja vételezni a villamos energiát az elektrolizáló.

5. Az Óbudai Egyetem és a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar eddigi eredményei és céljai.

Oktató és kutató-fejlesztő laboratóriumunk koncepciója 2016-2017-ben került megtervezésre (KVK VEI: Dr. Kádár Péter – Szén István). A labor az egyetem Szőlő utcai épületben található, melyben előbb a biztonságtechnikai feltételeket kellett megvalósítani, majd az eszközök, alkatrészek beszerzése következett.

Az elektrolízishez desztillált vizet használunk fel, a szükséges villamos energiát pedig napelemek segítségével állítjuk elő. A megtermelt hidrogént azonnal felhasználjuk, így tárolás nem valósul meg a laborban, melynek elsősorban biztonsági okai vannak. A hidrogént egy 500 W-os tüzelőanyag-cellában hasznosítjuk. A BSc oktatásunkban 2004 óta szerepel a tüzelőanyag cella mérés, de a jelenlegi laborban a hidrogént elő is tudjuk állítani a fenti módszerrel. Az oktatáson kívül a rendszer működési körülményeit tudjuk vizsgálni, majd a különböző speciális üzemeltetési körülmények eredményei alapján a folyamatot képesek vagyunk optimalizálni, a célunk az ideális hatásfok beállítása.

A működő fizikai modellek eredményei alapján az MSc képzésben matematikai modelleket hoznak létre hallgatóink MATLAB környezetben, s ezen a modellen folytatják a cellákkal kapcsolatos vizsgálatokat.



13. Ábra: MATLAB modell, optimalizációs számítások céljából

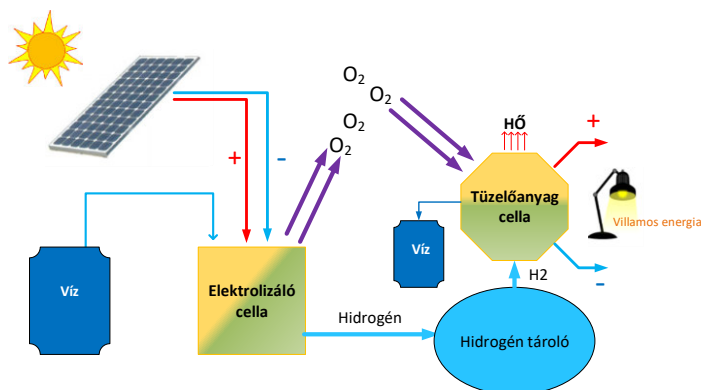
Tudományos Diákköri munkák, hallgatói projektek során a laborban különböző elektrolíziscellákat fejlesztettünk az elmúlt 4 évben során.



A hidrogén labor további fejlesztését tervezzük 2023-ban, korszerű mérési infrastruktúra felépítésével, speciális energetikai, rendszerszabályozási feladatokat szeretnénk megvalósítani, kutatásunk tervezzük kiterjeszteni a következő területekre:

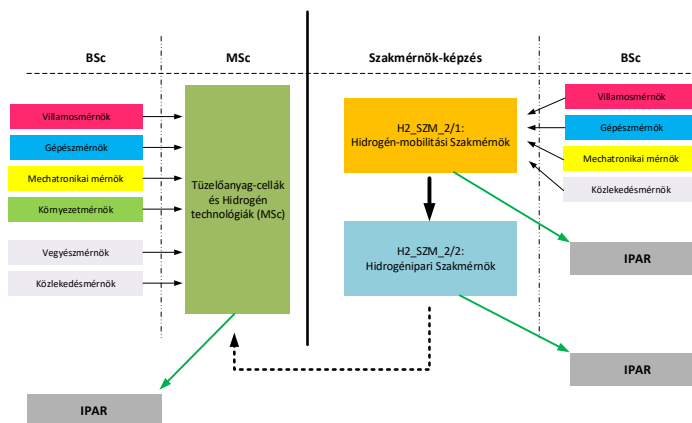
- az elektrolízis hatásfokának javítása
- a szélenergia és napenergiaegyüttes integrálása
- szigetüzemben működő energetikai rendszer megvalósítása
- Smart Grid szabályzási struktúra kidolgozása
- szinkron villamosenergia-rendszerhez kapcsolódó szabályzó rendszer kidolgozása
- kisméretű hálózatok üzemzavarai állapotának javítása
- korszerű üzemirányítási rendszerbe integrált hidrogéntechnológia alkalmazása [7] [8] [9] .

Hosszútávú célunk egy fenntartó, karbonsemleges energetikai rendszer megalkotása, továbbá a hidrogénenergetika oktatási módszerének kidolgozása és a villamosenergiarendszer üzembiztonságának fokozása.



14. Ábra: Laborkoncepció (2017) [2]

2022. első félévben kidolgoztam egy komplex, oktatási struktúrát, melynek alkalmazásával hazai és nemzetközi szinten is megvalósul a Kandó Kálmán Villamosmérnök Kar, Hidrogéntechológiai oktatása.



15. Ábra: Komplex oktatási struktúra a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Karon

Hivatkozások

- [1] Hannah Ritchie and Max Roser: Energy Production and Consumption, <https://ourworldindata.org/energy-production-consumption> [hivatkozva: 2022. 10. 07.]
- [2] I.Szén - Hidrogén alapú energetika: XII. Óbudai Energetikai Konferencia Óbudai Egyetem (2017) 132 p. pp. 91-102. , 12 p.
- [3] „Az éghajlatváltozásról szóló Párizsi Megállapodás” : <https://www.consilium.europa.eu/hu/policies/climate-change/paris-agreement/#EU> [hivatkozva: 2022. 10. 07.]
- [4] Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, az Európai Tanácsnak, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának, Az Európai Zöld Megállapodás, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>

- [5] Magyarország nemzeti hidrogénstratégiája, : <https://kormany.hu/dokumentumtar/magyarorszag-nemzeti-hidrogenstrategiaja>
- [6] Szén István, Dr. Endrődi Balázs, Bakos Imre, Pintér László, Koncz Bence, Dr. Janáky Csaba „A bükkábrányi naperőmű megújuló áramtermelését hasznosító innovatív energiatároló technológia fejlesztése” Hidrogén Hírlevél, 2021/4. szám https://hfc-hungary.org/H2_Hirlevel_2021_4_december.pdf
- [7] Péter, Holcsik ; Norbert, Nieberl ; Judith, Pálfi: Phases of the Smart Low-Voltage Distribution Network Implementation by System Theory Approach,
- [8] I.Szén, E.Rác: GH2 – Green Hydrogen: Hydrogen Energy in the light of sustainability Introducing a New Concept at Power Quality, International Conference on Renewable Energy and Power Quality
- [9] I.Szén - Energiabiztonság és ami mögötte van. Magyar Elektrotechnikai Egyesület (MEE) (2019) pp. 153-167. , 15 p.