

A hidrogén szerepe az energiabiztonság növelésében a megújuló energiaforrások integrációja mellett

Sárdy Kata Eszter¹, Szén István^{1,2,3}

1. Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, Budapest 1084
Tavaszmező u. 15-17., Magyarország, sardykata23@gmail.com

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

3. Óbudai Egyetem, Egyetemi Kutató és Innovációs Központ - Hidrogén és Hibrid
Technológiák Kutatóközpont, 1034 Bécsi út 94-96/A, Magyarország,
szen.istvan@kvk.uni-obuda.hu

A hibrid energiarendszerek megbízhatósága és fenntarthatósága egyre meghatározóbb szerepet tölt be a modern energiagazdálkodásban és a klímaváltozás elleni küzdelemben. A hidrogénalapú, hibrid rendszerek lehetőséget kínálnak a megújuló energiaforrások – elsősorban nap- és szélenergia ingadozásából adódó problémák, a hálózati stabilitás és az energiatárolás kihívásainak mérséklésére. Az Európai Hidrogénstratégia (2020) és a RePowerEU (2022) a hibrid energiarendszerek fejlesztését helyezi előtérbe, támogatva a zöldhidrogén-termelést, a villamosenergia- és gázpiac integrációját, valamint az Európai Unió 2050-es klímasemlegességi céljainak elérését. A Magyar Nemzeti Hidrogénstratégia (2021) a hazai energiarendszerben a hibrid rendszerek szerepét a megújuló alapú hidrogéntermelés, az ipari- és közlekedési alkalmazások, valamint a tárolási és konverziós technológiák – pl.: Power-to-Gas (PtG) – bevezetésében látja. Tanulmányunk vizsgálja a környezeti, gazdasági és technológiai összefüggéseket, különös tekintettel az elektrolízis és üzemanyagcella-technológiák költségsökkenésére, a jogi és szabályozási keretek fejlődésére, valamint hazai és regionális lehetőségekre, együttműködésekre. Az elemzés rávilágít, hogy a hidrogénalapú hibrid energiarendszerek kulcsszerepet játszhatnak a rugalmas, karbonsemleges és biztonságos energiahálózatok kialakításában Európában és Magyarországon egyaránt. Jelen cikkünkben, a kutatás bizonyos fejsúlyos területeit tudjuk bemutatni, így fókuszáltan foglalkozunk a a hidrogén, adaptív és rugalmassági funkcióival a nagy PV-penetrációjú energiarendszerek kontextusában, valamint bemutatjuk a hidrogén szektorszintű alkalmazási lehetőségeit (energia-, közlekedés-, ipar-, hőellátás és kémiai szektor).

Kulcsszavak: hidrogén, energiabiztonság, adaptivitás, PV-penetráció, szektor-integráció, hálózati rugalmasság.

5 Bevezetés: Energiaátmenet

Az energiabiztonság szempontjából biztonságos ellátórendszer, modern értelmezésében a megbízható, fenntartható és gazdaságos energiaellátást szimultán képes biztosítani [1][2][3]. A (1) megbízhatóság (reliability); (2) fenntarthatóság (sustainability); (3) gazdaságosság (affordability). Az Európai Zöld Megállapodás (Green Deal) és az azt megvalósító RePowerEU stratégia 2050-ig a szén-dioxid-semlegességet írja elő, amely a megújuló energiaforrások erőteljes expanziójára és az energiaszektor szoros integrációjára épít [4][5][7].



22. ábra: Mervadó EU-direktíva [2][5][7] forrás:
https://commission.europa.eu/topics/energy/repower_eu_en

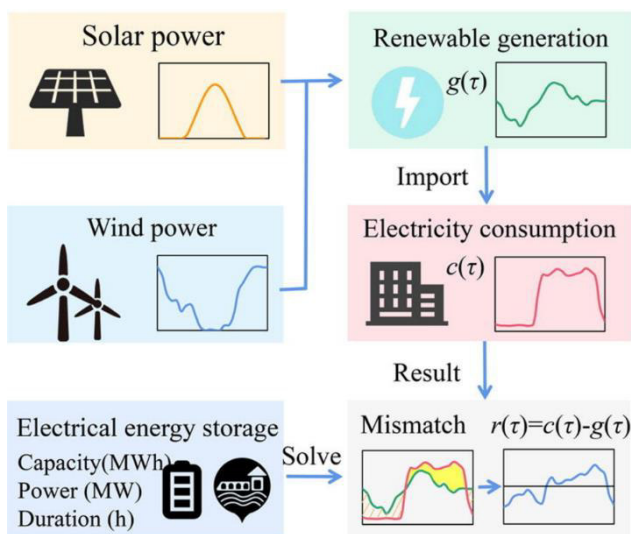
6 Adaptivitás és rugalmasság nagy PV-penetráció mellett

A magas PV-penetrációjú (ez igaz bármely időjárásfüggő energiatermelő esetén) rendszerek alapvető problémáját az energiatermelés és a fogyasztás időbeli eltérése (temporal mismatch) valamint a szezonális fluktuáció (seasonal variation) adja.[6] A nyári középnapokon a PV-termelés a rendszer teljesítményének 50–80%-át elérheti, míg este, éjjel és télen szinte nulla. Ez a napi görbe és az éves minta szimultán kezelendő kihívásokat okoz:

- “Ramp-rate problémák”: az ún. “duck curve” (kacsagörbe) jelenség során délután a PV-termelés drasztikusan visszaesik, a hálózati frekvencia csökken és a konvencionális erőművek turbulens terhelésváltozásoknak vannak kitéve [3][6][14][33][40].
- Szezonális eltérések: a tél–nyár közötti energiamennyiség-eltérés a PV esetén 6–8:1 arány is lehet, ami hosszú tárolási kapacitást igényel [8][15][16][17][33][40].

- Hálózati inercia csökkenése: a szinkron generátorok csökkenő száma (helyüket inverterek veszik át) rövidített tranziens stabilitást (transient stability margin) eredményeznek [6][9][10][14][28][29][33][40].
- Költségingadozások: a nagy PV-termelés időszakaiban az energiaár a nulla közeli értékre esik, míg az energiadeficit (sötét, szélszél) időszakban az ár exponenciálisan növekszik (price volatility) [6][11][28][29].

Az adaptivitás biztosításához tradicionális megoldások energiabiztonság szempontjából (konvencionális erőművek, nem tárolható vezérelt terhelés-löketés) nem elégségesek. A rendszer rugalmassága négy pillérre támaszkodik: (A) aktív, rövid-periódusú tárolás (akkumulátorok, hidromechanikai tárók); (B) inter-szektor rugalmasság (P2G, elektromobilitás, hő-puffer); (C) nemzetközi energiacserek és szomszédos hálózati összeköttetések és (D) szezonális energitárolási technológiák [12][14][16][16].



23. ábra: az energiatermelés és a fogyasztás időbeli eltérése (temporal mismatch) [32].

7 A hidrogén mint adaptív megoldás, a Power-to-Gas és a szektorintegráció.

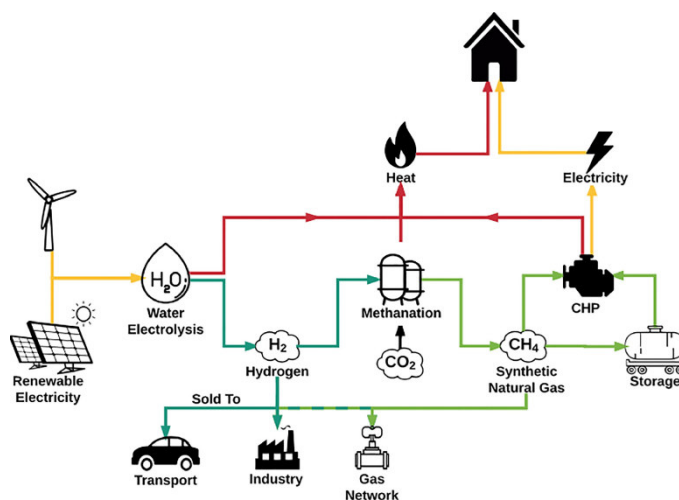
A hidrogén az energiabiztonság és adaptivitás kontextusában egy széleskörűen alkalmazható, szektorintegráló energiavektor [13][14][15].

A hidrogén előnyei:

- Hosszú-periódusú, ún. szezonális energiatárolás: A Power-to-Gas (P2G) technológia révén az elektrolízis révén a megújuló energiaforrásból származó villamos energiát, kémiai-vegyi úton, hidrogén (zöldhidrogén) formájában tároljuk. Lehetőségként később akár tovább alakítjuk ammóniává vagy szintetikus üzemanyaggá. A nagytávolságú szállítás vagy a közlekedési szektorban történő felhasználás ezáltal elérhetővé válik, miközben a tároláson kívül különböző szektorokat is összekapcsolhatunk [16][33][34][35][40].
- Szektor-integráció: A hidrogén képes a villamosenergia-szektor, az ipari szektor, a közlekedési szektor és a hőellátás szektorát összekötni, ezáltal megvalósítva egy nagy, integrált energiarendszert, mely diverzitása révén fokozza a biztonságot és nagymennyiségű, kiegyenlített hidrogénigénye kapcsán növeli a gazdasági stabilitást és a hidrogén értékének fajlagos csökkentéséhez vezethet [4][14][22][23][26][28][40].
- Decentralizáció: A hidrogénelőállítás (elektrolízis) optimalizálásával, közvetlen PV/W (nap és szélenergia) kapcsolat létrehozásával egy decentralizált energiagazdálkodás építhető ki (pl.: energiaközösségek) [29][36][37][38][39][40]
- Rugalmasság nyújtása: Az elektrolizáló berendezés terhelése 0–100% között gyors változtathatóságot kínál, így az energiafelesleget vagy-deficit kezelésére ideális eszköz [29][30][37][38][39][40]

A P2G-folyamat során az elektrolízis révén a villamos energia, hidrogén formájában kémiai energiává alakul át, ami szükség esetén felhasználható [14][41][42]:

- fűtésre: célszerűen magas hőmérséklet, ipari folyamatok üzemanyagaként (vaskohászat) [5];
- a közlekedésben: üzemanyag-cellás járművek (FCEV), hidrogénüzemű robbanómotorok (ICE) (Toyota Mirai vagy MAN) [5];
- Szabályozói villamosenergiává konvertálható: hidrogén égetésére alkalmas gázturbina. (Mátrai Erőmű - Ansaldo GT26) [5];
- Kémiai szintézis alapanyaga (ammónia, szintetikus üzemanyagok, metanol) [5][23][27][28][34][35]



24. ábra: P2G folyamat [41]

8 Hidrogén felhasználási lehetőségei az energiabiztonság kontextusában

4.1 Energiatárolás és csúcsergia-kiegyenlítés

A hidrogén elsősorban szezonális és hosszúperiódusú tárolásra alkalmas. Az energiamérlegből adódó szezonális deficit (különösen a téli félévben) konvencionális méretezésű akkumulátor alapú tárolók mellett kezelhető a P2G-hidrogén és az azt követő visszaalakítás révén [19]. Az “round-trip efficiency” ~50–60% körüli, amely nagyléptékű szezonális tároláshoz a jelenlegi technikai fejlettség mellett elfogadható, a hosszú távon ez javulni fog [14][26][27][31][33][39][40].

4.2 Közlekedési szektor elektromobilitása

A hidrogén-üzemanyagcellás járművek (Fuel Cell Electric Vehicles – FCEV) egy kiépítendő, de fenntartható alternatívát nyújtanak a tisztán elektromos járművek mellett, különösen a nehéz közlekedésben (kamionok, buszok) és a repülésben [5][17]. A hidrogén-infrastruktúra (töltőállomások) az energiagazdálkodás rugalmasságához is hozzájárul, mivel időjárás-függetlenül működhet, ezzel jelentős segítséget nyújthat a villamosenergia-rendszer szabályozásában [3][36][37][38][39][40].

4.3 Ipari alkalmazások és magas hőmérséklet-igényes folyamatok

Az acél-, cement- és vegyipar energiaigényes folyamatai (redukció, pirolízis) jelenleg fosszilis üzemanyaggal (jellemzően földgázzal) működnek. A zöld hidrogén ezekben az alkalmazásokban a karbonmentes termelés kiváló alapja [5][6][14][18]. Az EU ambiciózus céljai között szerepel az ipari szektor 30–50%-os dekarbonizációja 2030-ig a hidrogén révén.

4.4 Hőellátás (fűtés, meleg vízellátás)

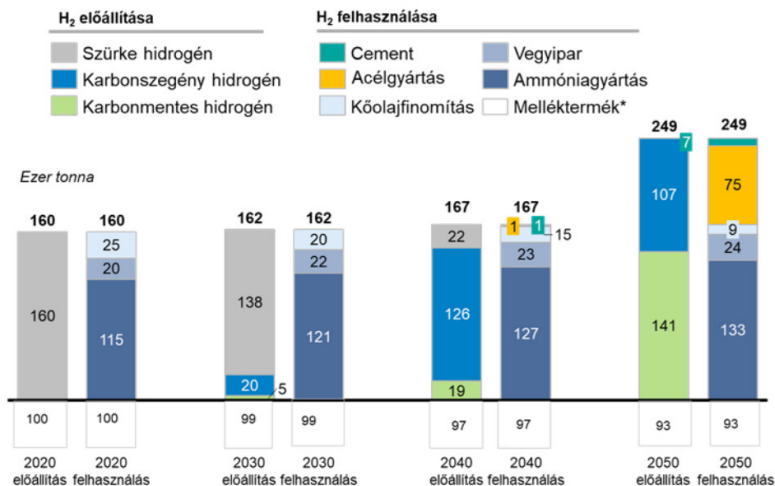
A hidrogén égetése vagy üzemanyag-cellás konverziója hőt termel. A meglévő gázvezeték-hálózatba (akár 10–20% hidrogénnel) keverve, vagy tiszta hidrogénhez való áttérés révén lakó- és közintézmények fűtése hidrogénből elívi szinten megoldható. Magyarország és az EU gáz-infrastruktúrája erre nem áll készen, de a kutatások megkezdődtek és részben felkészíthető erre a feladatra [22][23][24][42].

4.5 Kémiai szintézisek és szintetikus üzemanyagok

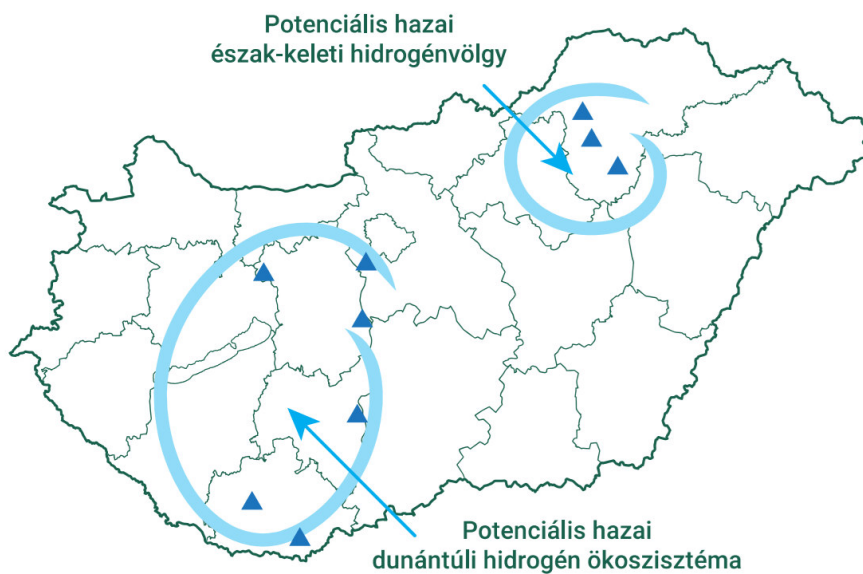
A hidrogén kombinálva szén-dioxiddal (Direct Air Capture – DAC technológia révén) szintetikus üzemanyaggá (e-fuel, e-kerosene) alakítható, amely a meglévő belső égésű motorokban és repülőgépekben használható anélkül, hogy a hardvert módosítanák [23][34][35].

9 Magyarország és a Közép-európai régió perspektívái

A Magyar Nemzeti Hidrogénstratégia [43] 2021-ben részletesen rögzíti, hogy Magyarország a közép-európai régió hidrogén-ellátási csomópontja lehet. A vidék geopolitikai helyzete, az Oroszországból érkezésre rendelkezésre álló gázvezeték-hálózat, valamint a Duna-menti, dunántúli és szegedi ipari parkok infrastruktúrája kedvezően alkalmazható a zöldhidrogén termelésének lokális csomópontjaivá való átalakításhoz [24]. A magas PV-penetráció hazai szintjén (2024-ben ~15%, majd 2030-ra >40% tervezett) a hidrogénalapú tárolási és rugalmassági kapacitások szükségessé fognak válni. A Tisza-vidéki, majd regionális solár-parkok, valamint a későbbi szélenergia-projektek természetesen kapcsolódnak az elektrolízis alapú hidrogén termeléshez, így a PV-feleslegből közvetlenül hidrogén állítható elő vagy a Dunántúli Vegyipari Koalíció, illetve az Alföldi Agrár-Ipari Zóna igényeihez igazítható a termelés.



25. ábra: Várható, hazai hidrogéelőállítás és felhasználás [24]



26. ábra: Potenciális hidrogénvölgyek Magyarországon [24]

10 Szabályozási és társadalmi kihívások

A hidrogén mint energiahordozó integrálása a jelenlegi energiagazdálkodási keretbe, 2025-ben még számos jogi és technikai akadályba ütközik. Az EU Renewable Energy Directive (RED III, 2023) és a Critical Raw Materials Regulation (CRMR) keretén belül a zöldhidrogénre vonatkozó definíciók és tanúsítási rendszerek még finomhangolásra szorulnak [25]. A meglévő gáz-infrastruktúra hidrogén-kompatibilitása szintén kérdéses – a PVC-vezetékek, szelephegesztések és fém-ridegedési problémák szisztematikus felülvizsgálatot igényelnek [42].



27. ábra: Gázhálózati kötések vizsgálata (OPUS Tigáz Zrt.) [42].

A társadalmi elfogadás szintén kihívást jelent: a hidrogén biztonságáról és kezeléséről folyó közfigyelem gyakran túlzóan pessimista (a csernobili, fukusimai események, vagy egyéb ipari balesetek). Meg kell erősíteni az oktatási és tudatosítási programokat [26][43][44]

A zöld hidrogén termelésének globális költsége (€5–9/kg, 2024-es adatok) még jelentősen magasabb a szürke hidrogénhez képest (€1.5–3/kg), az EU támogatás és a kvótaköltségek (carbon pricing) fokozatosan csökkenti ezt a differenciát.

11 Összefoglalás és jövőbeli perspektívák

A hidrogén, az energiabiztonság növelésének multidimenzionális eszköze a magas PV-penetrációjú energiarendszerek korában. **Az adaptivitás és rugalmasság biztosításán túl a hidrogén szektorszintű integrációt tesz lehetővé – egységes energiahordozóként működik a közlekedés, az ipar, a fűtés és az energiaszektor között.** Ez az integráció nem pusztán technikai fejlődést, hanem geopolitikai és gazdasági előnyöket is eredményez. Közép-Európa számára a hidrogén, egy lehetőség az energiafüggetlenség felé vezető úton.

Magyarország és a régió részben rendelkezik a szükséges infrastruktúrával, a szolár- és később szélenergia-potenciálokkal, valamint az ipari alkalmazások sokféleségével, hogy a hidrogéngazdaság reális cél lehessen.

Az EU szabályozási kerete (RED III, H2 Global, Hydrogen Bank) az előállítás és az alkalmazást támogatja. Az adaptivitás magasabb szintjének (>40% PV) elérésében a P2G-alapú hidrogén nélkülözhetetlen lesz.

A jövőbeli kutatások prioritása: (1) költségcsökkentés az elektrolízistechnológiák optimalizálása révén; (2) az infrastruktúra-kompatibilitás biztosítása; (3) a regionális hidrogén-logisztika tervezése; (4) a társadalmi elfogadás erősítése; (5) a szektorszintű integrációs modellek mélyebb tanulmányozása. Meglátásunk szerint az energiabiztonság és a hidrogéntechnológia jelentősen kapcsolódik egymáshoz az előttünk álló évtizedekben.

A 21. században az **energiabiztonság** nem a források birtoklásáról, hanem az energiarendszer **adaptivitásáról** szól.

Forrásjegyzék

- [1] International Energy Agency (IEA). (2020). World Energy Outlook 2020. Paris: IEA Publications.
- [2] IRENA. (2019). Global Energy Transformation: A roadmap to 2050. Abu Dhabi, IRENA.
- [3] Istvan, Szen ; Ervin, Racz Use of the Power Line Communication System (PLC) at Low Voltage (0.4 kV) Noisy Electrical Networks – Introducing a New Concept at Power Quality RENEWABLE ENERGY & POWER QUALITY JOURNAL RE&PQJ : RE&PQJ-10 pp. 1735-1740. Paper: 823
- [4] Szén István, Energiabiztonság és ami mögötte van, In: Kádár, Péter (szerk.) Fejezetek az elektrotechnikából II. Budapest, Magyarország : Magyar Elektrotechnikai Egyesület (MEE) (2019) pp. 153-167. , 15 p.
- [5]Szén István, Energetika és környezetvédelem (KVXEKVESLF), Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem
- [6] Szén István, Megújuló energiaforrások és az ellátásbiztonság paradoxona - tanulságok a spanyol villamosenergia-rendszer üzemzavarából (2025)
- [7] European Commission. (2021). Fit for 55 – EU Climate Action Programme. Brussels: EC.
- [8] SolarPower Europe. (2024). Global Market Outlook for Solar Power 2024. Brussels.
- [9] Kroposki, B., et al. (2017). Achieving a 100% Renewable Grid: Operational Requirements, Planning Principles, and Emerging Challenges. NREL Technical Report TP-6A20-67086.

- [10] Denholm, P., & Jorgenson, J. (2014). The Role of Concentrating Solar Power in High-Penetration Renewable Electricity Systems. NREL/TP-6A20-61127.
- [11] Thuram, R., & Heinrichs, H. (2021). Impact of Power-to-Gas on the electricity market in view of energy security. *Energy Policy*, 158, 112564.
- [12] Lund, H., et al. (2017). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future whole energy systems. *Energy*, 68, pp. 1–11.
- [13] Buttner, T., et al. (2014). Hydrogen Supply Chains. In *Handbook of Hydrogen Storage* (pp. 367–401). Wiley-VCH.
- [14] Szén István, A hidrogén jelentősége a megújuló energiaforrások integrációjában valamint szerepe a fenntartható energetikában és a „zöld iparban”. In: Temesvári, Zsolt; Wühl, Tibor; Molnár, György (szerk.) XXXVIII. Kandó Konferencia 2022, Kiadvány kötet Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar (2022) 419 p. pp. 69-79. , 11 p.
- [15] Szén István, Hidrogén-energetika 1. rész, Energiatárolási célok és lehetőségek, a hidrogén értéklánc, ELEKTROTECHNIKA 116 : 9-10 pp. 28-32. , 5 p. (2023)
- [16] Schiebahn, S., et al. (2015). Power to gas: technological overview, limits and prospects. *Renewable Energy*, 85, pp. 1371–1390.
- [17] IRENA. (2022). Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal: Part B – Technology Review of Hydrogen Trade. Abu Dhabi: IRENA.
- [18] Philibert, C. (2020). Hydrogen and a Sustainable Energy Future. Paris: IEA Publications.
- [19] Benzinger, P., et al. (2023). Review and Assessment of Hydrogen Production Technologies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 170, p. 112975.
- [20] Staffell, I., et al. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy & Environmental Science*, 12, pp. 463–491.
- [21] Vogl, V., et al. (2018). Assessment of hydrogen direct reduction for steelmaking. *Journal of Cleaner Production*, 203, pp. 736–745.
- [22] Melgar, A., et al. (2021). Implementation of hydrogen blending in gas networks. *Natural Gas Industry B*, 8(3), pp. 298–309.
- [23] Bieker, G. (2019). Synthetic Fuels and Power-to-X: Technology, Economics and Sustainability. Berlin: International Council on Clean Transportation.
- [24] Hungarian Ministry of Innovation and Technology. (2021). National Hydrogen Strategy. Budapest. <https://kormany.hu/dokumentumtar/magyarorszag-nemzeti-hidrogenstrategiaja>
- [25] European Commission. (2023). Delegated Regulation (EU) 2023/1184 on the methodology for calculating the greenhouse gas impact of hydrogen. Brussels.

- [26] Rivarolo, M., et al. (2016). Hydrogen production, storage and end-uses: current technology development status. *Journal of Energy Storage*, 18, pp. 295–306.
- [27] IEA. (2023). *Global Hydrogen Review 2023*. Paris: IEA Publications.
- [28] Istvan Szen, GH2 - Green hydrogen hydrogen energy in the light of sustainability In: Kolcun, M; Kurimsky, J; Kolcunova, I (szerk.) *PROCEEDINGS OF THE 9TH INTERNATIONAL SCIENTIFIC SYMPOSIUM ON ELECTRICAL POWER ENGINEERING (ELEKTROENERGETIKA 2017)* Kosice, Szlovákia: Technical University of Kosice.
- [29] Szén István; Dr. Janáky Csaba; Bakos Imre; Dr. Endrődi Balázs; Pintér László; Koncz Bence: A bükkábrányi naperőmű megújuló áramtermelését hasznosító innovatív energiáról technológia fejlesztése, H2 - HIDROGÉN HÍRLEVÉL : A MAGYAR HIDROGÉN ÉS TÜZELŐANYAG-CELLA EGYESÜLET HÍRLEVELE H2 - Hidrogén hírlevél : 2021/4
- [30] Szén István, Energiabiztonság az Ipar 5.0 tükrében (Ipar 5.0 minikonferencia, Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar) (2024)
- [31] Szén István, Hiedelmek vs valóság: A hidrogén csak hype vagy valós opció? (Magyar Elektrotechnika Egyesület - podcast) (2024)
- [32] Qi Chen, Zhonghong Kuang, Xiaohua Liu, Tao Zhang, Energy storage to solve the diurnal, weekly, and seasonal mismatch and achieve zero-carbon electricity consumption in buildings, *Applied Energy*, Volume 312, 2022,
- [33] Endrődi Balázs; Trapp Cintia Alexandra; Szén István; Bakos Imre; Lukovics Miklós; Janáky Csaba, Challenges and Opportunities of the Dynamic Operation of PEM Water Electrolyzers *ENERGIES* 18 : 9 Paper: 2154 , 11 p. (2025)
- [34] Balog Ádám; Kecsenovity Egon; Samu Gergely F.; He Jie; Fekete Dávid; Janáky, Csaba, Paired photoelectrochemical conversion of CO₂/H₂O and glycerol at high rate, *NATURE CATALYSIS* 7 : 5 pp. 522-535. , 14 p. (2024)
- [35] Samu Angelika Anita; Endrődi Balázs; Jones Richard; Janáky Csaba, A kísérleti paraméterek hatásainak vizsgálata a CO₂ elektrolizáló cellák hosszú távú, stabil működésének érdekében. *SCIENTIA ET SECURITAS* 5 : 2 pp. 211-217. , 7 p. (2024)
- [36] Szén István; Morva György; Haddad Richárd, Smart Metering In: BMF (szerk.) *Intelligens Energiarendszerek : a villamosenergia-ellátás új technológiai lehetőségei*, Budapest, Magyarország : Budapesti Műszaki Főiskola (BMF) (2007)
- [37] Morva György; Szén István; Zakár István, Háztartási Méretű kiserőművek elosztó hálózati csatlakozása, In: BMF (szerk.) *Fogyasztói együttműködés a fenntartható villamosenergia ellátásért : III. BMF energetikai konferencia 2008*, Budapest, Magyarország : Budapesti Műszaki Főiskola (BMF).
- [38] István Szen; Morva György, Smart metering and the Ripple Control System (2010)

- [39] Szén István, Hidrogén alapú energetika, In: Óbudai, Egyetem (szerk.) XII. Óbudai Energetikai Konferencia, Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem (2017) 132 p. pp. 91-102. , 12 p.
- [40] Szén István; Diószegi Mónika; Rácz Ervin, Energiabiztonság: A villamosenergia-rendszer üzembiztonságának javítása új, korszerű módszerekkel, optimális microgrid struktúra napelem, akkumulátor és hidrogén támogatással, In: Molnár, György; Wühl, Tibor (szerk.) KVK PhD Workshop Minikonferencia : Absztrakt kötet és előadás, Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem, Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar (2023) 23 p. pp. 18-18. , 1 p.
- [41] Jonathan Reynolds, Muhammad Waseem Ahmad, Yacine Rezgui,, Holistic modelling techniques for the operational optimisation of multi-vector energy systems, Energy and Buildings, Volume 169, 2018,
- [42] Gáti-Kiss Dániel; Bakos Imre; Szén István, Hidrogénbekeverés-projekt az OPUS TIGÁZ Zrt.-nél, H₂ - HIDROGÉN HÍRLEVÉL : A MAGYAR HIDROGÉN ÉS TÜZELŐANYAG-CELLA EGYESÜLET HÍRLEVELE 2025 : 2025/1 p. Március (2025)
- [43] Szén István; Bakosné Diószegi Mónika; Rácz Ervin, Hidrogénteknológiák biztonsági osztályozása: a HISI-modell koncepciója és empirikus validációja BIZTONSÁGTUDOMÁNYI SZEMLE 7 : 3 pp. 113-128. , 16 p. (2025)
- [44] Szén István, Hidrogénbiztonság: Balesetek kvantitatív elemzése és biztonságközpontú, új tervezési módszerek fejlesztése. In: Molnár, György; Temesvári, Zsolt; Wühl, Tibor (szerk.) XXXIX. Kandó Konferencia 2023 Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem (2024) 420 p. pp. 44-49. , 6 p.