

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

60. évfolyam 2019. különszám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

I. Magyar Power-to-Gas Konferencia



 **Pietro
Fiorentini**





I. Magyar Power-to-Gas Konferencia

Magyar Tudományos Akadémia, Képes terem

2019. március 28.

Plenáris előadások

Kaderják Péter államtitkár (ITM) - Az energiatárolás kihívásai Magyarországon, új technológiák szerepe

Jászberényi Zoltán vezérigazgató (Pietro Fiorentini) - A power-to-gas technológia és az ipari innováció jelentősége

1. szekció: Power-to-gas technológia kutatás Magyarországon

Sinóros-Szabó Botond műszaki-technológiai igazgató (Power-to-Gas Hungary) – Egy power-to-gas prototípus üzemeltetési tapasztalatai: K+F+I eredmények és lehetőségek

Imre Attila egyetemi tanár (BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék) – Power-to-gas technológiához kapcsolódó kutatások a BME EGR-en: metáncseppfolyósítás; hulladékhő hasznosítás; oxigénvisszakeverés.

Pap József laboratóriumvezető (MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Felületkémiai és Katalízis Kutatólaboratórium) – Katalizátorfejlesztések vízbontáshoz és szén-dioxid redukciójához.

Kovács Kornél egyetemi tanár (SZTE Biotechnológiai Tanszék) – A biotechnológia szerepe a sikeres P2G technológia megvalósításában.

2. szekció: A power-to-gas technológia alkalmazási lehetőségei Magyarországon

Csedő Zoltán egyetemi docens (BCE Vezetés és Szervezés Tanszék), ügyvezető igazgató (Power-to-Gas Hungary) – A power-to-gas technológiafejlesztés üzleti modellje Magyarországon

Zavarkó Máté üzletfejlesztési menedzser (Power-to-Gas Hungary) – Nemzetközi power-to-gas technológia fejlesztési projektek tanulságai

Sára Zoltán igazgatósági tag (Power-to-Gas Hungary) – Digitális know-how fejlesztés lehetőségei egy power-to-gas üzem esetében

Pintér Gábor egyetemi docens (Pannon Egyetem) – A power-to-gas technológiafejlesztés jelentősége a magyar energiatárolási technológiák szempontjából

Strausz Péter egyetemi adjunktus (BCE Vezetés és Szervezés Tanszék) – Innovációtörténi tanulságok Magyarországon

A konferencia támogatója:



ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

60. évfolyam 2019. különszám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Főszerkesztő:
Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:
Dr. Bihari Péter

Szerkesztőség vezető:
Kaposvári Regina

Szerkesztőbizottság:
Dr. Balikó Sándor, Dr. Bihari Péter,
Czinege Zoltán, Dr. Csűrös Tibor,
Dr. Farkas István, Juhász Sándor,
Kádár Márton Gábor, Korcsog György,
Kövesdi Zsolt, Dr. Laza Tamás, Mezei Károly,
Dr. Mezösi Balázs, Dr. Molnár László,
Dr. Nagy Valéria, Németh Bálint,
Péter Szabó István, Romsics László,
Dr. Serédiné Dr. Wopera Ágnes,
Dr. Steier József, Dr. Stróbl Alajos,
Szabó Benjámin István, Dr. Szilágyi Zsombor,
Vancsó Tamás, Dr. Zsebik Albin

Honlap szerkesztő:
Kierblewski Marius
www.ete-net.hu

Kiadja: Energiagazdálkodási
Tudományos Egyesület
1091 Budapest, Üllői út 25., IV. em. 420-421.
Tel.: +36 1 353 2751,
+36 1 353 2627,
E-mail: titkarsag@ete-net.hu

Felelős kiadó:
Bakács István, az ETE elnöke

A szerkesztőség címe:
BME Energetikai Gépek és
Rendszerek Tanszék
1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
D épület 208 sz.
Telefon: +36 1 463 2613.
Telefax: +36 1 353 3894.
E-mail: enga@ete-net.hu

Megjelenik kéthavonta.
Előfizetési díj egy évre: 4200 Ft
Egy szám ára: 780 Ft
Előfizethető a díj átutalásával a
10200830-32310267-00000000
számlaszámra a postázási és számlázási cím
megadásával, valamint az
„Energiagazdálkodás” megjegyzéssel
ISSN 0021-0757

Tipográfia:
Büki Bt.
bukiandras@t-online.hu

Nyomdai munkák:
EFO Nyomda
www.efonyomda.hu

Lapunkat rendszeresen
szemlézi a megújult

 **OBSERVER**

www.observer.hu

Dr. Csedő Zoltán, Dr. Imre Attila
Az I. Magyar Power-to-Gas Konferencia margójára 2
About the 1st Hungarian Power-to-Gas Conference
Über die erste ungarische Power to Gas Konferenz

Dr. Sinóros-Szabó Botond
Egy power-to-gas prototípus üzemeltetési tapasztalatai: 3
K+F+I eredmények és lehetőségek
Operation experiences of a power-to-gas prototype: R&D&I findings and opportunities
Betriebserfahrungen eines Power-to-Gas Prototyp: F&E&I-Ergebnisse und Möglichkeiten

Dr. Imre Attila, Dr. László Krisztina, Dr. Szentannai Pál, Dr. Groniewsky Axel,
Kustán Réka, Domán Andrea,
Egy Power-to-Gas alapú komplex energiatárolási kutató-fejlesztőközpont terve – 8
kihívások, kapcsolódó kutatások
Plan of a complex Power-to-Gas based Innovation and Research centre –
challenges and related research topics
Plan eines komplexen Power-to-Gas Innovations- und Forschungszentrums –
Herausforderungen und verwandte Forschungsthemen

Szuhaj Márk, Dr. Bagi Zoltán, Prof. Dr. Kovács L. Kornél,
A „Power-to-Gas” és kapcsolódó biogáz tisztítási biotechnológiai eljárások 13
Biogas purification technologies and the Power-to-Gas process
Power to Gas und verwandte biotechnologische Biogasreinigungsverfahren

Dr. Csedő Zoltán
A power-to-gas technológiafejlesztés üzleti modellje Magyarországon 17
Business Model of Power-to-Gas technology development in Hungary
Geschäftsmodell der Power-to-Gas Technologieentwicklung in Ungarn

Zavarkó Máté
Nemzetközi power-to-gas technológia fejlesztési projektek tanulságai 21
Lessons of international Power-to-Gas technology development projects
Lehren aus den internationalen Power-to-Gas Technologie entwicklungsprojekten

Sára Zoltán
A digitális know-how fejlesztés lehetőségei egy power-to-gas üzem esetében 26
Opportunities for digital know-how development in case of a Power-to-Gas facility
Möglichkeiten zur digitalen know-how Entwicklung bei einer Power-to-Gas Anlage

Dr. Pintér Gábor, Dr. Birkner Zoltán, Hegedűsné dr. Baranyai Nóra, Dr. Zsiborács Henrik
A hazai energiatárolás lehetőségei 2030-ig 31
Opportunities of energy storage in Hungary
Möglichkeiten von Energiespeichern in Ungarn

Dr. habil. Strausz Péter
Innovációtörténeti tanulságok a 20. századi Magyarországon 34
Learnings from the history of innovation of the 20th centuries Hungary
Innovationsgeschichtliche Lehren aus den 20sten Jahrhundert in Ungarn

Kapcsolódó 2019-es magyarországi Power-to-Gas események 39
Hungarian Power-to-Gas related events in 2019
Power-to-Gas relevante Ereignisse in Ungarn in 2019

A beküldött kéziratokat nem őrizük meg, és nem küldjük vissza. A szerkesztőség fenntartja
a jogot a beküldött cikkek rövidítésére és javítására. A szakfolyóiratban megjelent cikkek
nem feltétlenül azonosak a szerkesztők vagy az ETE vezetőségének álláspontjával,
azok tartalmáért az írójuk felelős.

Az I. Magyar Power-to-Gas Konferencia margójára

P G
2019

(About the 1st Hungarian Power-to-Gas Conference)

A Power-to-Gas (P2G) technológia a kémiai energiatárolás egy ma még kevésbé használt formája. A villamosenergia-tárolás talán legismertebb formája, az akkumulátoros tárolás, szintén kémiai alapú; ekkor az akkumulátorba betáplált villamos energiával egy elektrokémiai folyamatot indítunk el, ami az egyik anyagot egy másikra alakítja. Amikor ki akarjuk nyerni az energiát, akkor a folyamat fordítottja játszódik le, aminek következményeképp visszakapjuk a betárolt áram egy részét. A P2G technológia hasonlóan működik, csak itt a kémiai folyamat más; az eltárolandó villamos energiával valamilyen, üzemanyagként felhasználható gázt állítok elő – esetünkben ez metán – amit eltárolhatok és később felhasználhatok; akár arra is, hogy egy gázmotorral újra villamos energiát állítsak belőle elő. Így messziről nézve a két technológia majdnem ugyanolyan; áramot vezetek be egy dobozba, ott kémiai úton az áram egy ideig eltárolódik, majd a végén újra kijön.

A hasonlóságok mellett a két technológia között különbségek is vannak, és ez nem csupán az előbb említett „dobozok” mérete (az akkumulátor kicsi, a P2G egység jóval nagyobb), vagy a kémiai reakciók különbözősége, de a felhasználás-felhasználhatóság is. A P2G technológiával előállított metán akár évekig is eltárolható, míg az akkumulátoros tárolás határait mindenki ismeri, aki pár hét-hónap állás után próbált már autót beindítani. Ugyancsak jelentős különbség, hogy metánból jóval nagyobb mennyiséget tudunk eltárolni (köszönhetően a magyarországi földgáz tároló és szállító rendszernek); ha ugyanennyi energiát akkumulátorokban szeretnénk eltárolni, azaz elég nehéz feladat elé állítanánk az akkumulátor-gyártókat.

A P2G technológia a metánt széndioxidból és vízből állítja elő. Az első lépés minden esetben a vízbontás, amivel a későbbi reakcióhoz szükséges hidrogént állítják elő. Ezután két alternatív lehetőség van; vagy „nyers erővel”, azaz nagyon magas hőmérséklettel és nyomással a széndioxidból és hidrogénből metánt hozunk létre, illetve a másik, amikor ezt mikroorganizmusokra bízunk, amelyek az előző reakciónál jóval alacsonyabb hőmérsékleten és nyomáson dolgoznak. Energetikailag a második út jobb, ezért választotta a Power-to-Gas Hungary Kft. is ezt a technológiát.

Mikrobiológiai úton működő, zömmel „pilot” méretű P2G üzemeket már több országban is találhatunk, így a módszer életképessége már bizonyított, viszont még mindig akadnak a technológiában tökéletesítendő-javítandó pontok. Úgy véljük, hogy ez a technológia a magyar viszonyok között (nagy, de csak részben kihasznált gázhálózat) az energiatárolásnak egy nagyon ígéretes útja, de mint minden új technológia, csak akkor fog működni és fejlődni, ha létezik az országban egy megfelelő szakértői csapat is. Ennek szellemében tartottuk meg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, a Power-to-Gas Hungary Kft., az MTA Energetikai Kutatóközpont és a Budapesti Corvinus Egyetem szervezésében 2019. március 28-án az MTA Székházában ipari szereplők, döntéshozók és kutatók részvételével az I. Magyar Power-to-Gas Konferenciát. A rendezvény védnöke Dr. Kaderják Péter államtitkár (ITM) volt, aki egyben a megnyitó előadást is tartotta az energiatárolás kihívásairól Magyarországon, valamint ehhez kapcsolódva az új technológiák szerepéről. A főszponzor a Fiorentini Hungary Kft. (a Pietro

Fiorentini magyar leányvállalata) volt; a céget Jászberényi Zoltán vezérigazgató képviselte, előadásában a P2G technológia és az ipari innováció jelentőségéről beszélt.

A két nyitóelőadás után két szakmai szekció következett, az első inkább a technológiai, míg a második a gazdasági vonatkozásokkal foglalkozott. Az Olvasó által jelenleg kézben tartott különszám a konferencián elhangzott szakmai előadásokból lett összeállítva.

A konferencia résztvevői egyetértettek abban, hogy a P2G technológia fejlesztésében már nemzetközi szinten is jelentős kutatás-fejlesztési és prototípus üzemeltetési tapasztalatok vannak Magyarországon, melyekre építve fontos lenne egy magyar P2G technológia fejlesztési ökoszisztémát létrehozni. A kutatók, ipari partnerek, startup és spin-off vállalkozások és állami döntéshozók aktív részvétele biztosíthatja, hogy Magyarországon olyan technológiai innovációk születhessenek, melyek nemcsak a hazai energiatárolási kihívások tartós megoldásához járulhatnak hozzá, hanem nemzetközi szinten is versenyképesek.

A fentiek szellemében, a magyar P2G technológia fejlesztési ökoszisztémájának létrehozásának szempontjából is, komoly mérföldkőnek számít az I. Magyar Power-to-Gas Konferencia. Reméljük, hogy ez a cikk-gyűjtemény is hozzájárul ahhoz, hogy a P2G technológia ismertebbé váljon a magyar energetikai szakmai közösségnek.



Dr. Csödő Zoltán
tanszékvezető egyetemi docens,
Budapesti Corvinus Egyetem
Vezetés és Szervezés Tanszék

ügyvezető igazgató,
Power-to-Gas Hungary Kft



Dr. Imre Attila
egyetemi tanár, tanszékvezető
helyettes,
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem,
Gépészmérnöki Kar, Energetikai
Gépek és Rendszerek Tanszék

tudományos tanácsadó,
MTA Energetikai Kutatóközpont

Az érdeklődők további szakmai információkat találhatnak a Power-to-Gas Hungary Kft. honlapján (p2g.hu), valamint a konferencia honlapján (www.energia.mta.hu/~pressure/1hp2g/p2g_main_1.htm), ahol a cikkek online változatai is rövidesen megtalálhatók lesznek. A 2020-ra tervezett II. Magyar Power-to-Gas Konferenciával kapcsolatos információk szintén ezeken az oldalakon lesznek elérhetők, előreláthatóan jövő év elején.

Egy power-to-gas prototípus üzemeltetési tapasztalatai: K+F+I eredmények és lehetőségek

Dr. Sinóros-Szabó Botond

műszaki-technológiai igazgató, Power-to-Gas Hungary Kft.

A Power-to-Gas Hungary Kft. 2018 áprilisa óta üzemelteti a biometanizációs eljárás alapján innovatív, laborméretű prototípusát. Bár számos ország kutatói és fejlesztői foglalkoznak a power-to-gas (P2G) technológia fejlesztési kérdéseivel, de a nyilvánosan rendelkezésre álló források nem számolnak be laborméretű prototípusról, amely a demonstráció, oktatás, alapanyag validáció és a kutatás-fejlesztés-innováció (K+F+I) tevékenységeit is egyidejűleg el tudnák látni. Az utóbbi három funkció, valamint a prototípus kialakítása biztosítja a technológia felskálázását, a technológia laborméretéről a kereskedelmi léptékre történő emelését. A prototípus üzemeltetési tevékenységhez köthető üzemmódok – Hidegkészenlét, Melegkészenlét, Fokozatos felfuttatás, Névleges Üzem, Nyomonkövetés és Helyreállítás – megvalósítása, valamint az oroszországi telephelyen folytatott K+F+I célú tevékenységek célja olyan gyakorlati és elméleti ismeretanyag megszerzésének biztosítása, amely nagymértékben befolyásolja a kereskedelmi léptékű P2G üzemek tervezését, építését és üzemeltetését.

*

As of April 2018, Power-to-Gas Hungary Kft. has been operating an innovative laboratory-scaled power-to-gas prototype based on biomethanation process. Although researchers and international industry experts have been focusing on development issues of power-to-gas (P2G) technology, but none of the publicly available sources provided information regarding a laboratory-scaled prototype that jointly fulfill the functions of technology demonstration, trainings, research and development and innovation (R&D&I). The latter three functions and the prototype design ensure the scaling-up of the technology from laboratory scale to commercial one. The ultimate goal of the operation and R&D&I activities of our lab-scaled prototype located at Vertes Power Plant in Oroszlány (Hungary) is to provide practical and theoretical knowledge that will significantly contribute to the design, commissioning and operations related activities of future commercial-scale P2G facilities.

A világgazdaság fejlesztési stratégiájának egyik kulcseleme a környezetnek a védelme és a természeti erőforrások racionális felhasználásának biztosítása. Összhangban a globális klímapolitikai találkozók [1] eredményével az Energy Roadmap 2050 energiasztratégia [2] [3] előtérbe helyezi az energiaszektor dekarbonizációját. Az uniós jogszabályozás szerint „A fosszilis tartalékokkal vagy energiaszerkezetükben nagy arányú fosszilis összetevővel rendelkező tagállamoknak támogatniuk kell a szén-dioxid-leválasztást és -tárolást a kereskedelmi bevezetés előtti időszakban annak érdekében, hogy csökkenteni lehessen a költségeket és a következő évtized közepére meg lehessen valósítani a kereskedelmi alkalmazást” [4]. Ezt egészíti ki az a törekvés, amely a földgáztüzelésű erőművek

létesítését és azoknak szén-dioxid tárolásra (CCS) és/vagy széndioxidot hasznosítására (CCU) alkalmas technológiákkal történő kibővítését helyezi előtérbe.

Az energiatermelő szektor világszinten az antropogén szén-dioxid kibocsátás több mint kétharmad részéért felelős [5]. Az Európai Biogáz Szövetség jelentése [6] szerint a biogáz biometánná történő feljavítása fokozatosan át fogja venni a villamosenergia-termelés helyét a megújuló energiaszektor ezen ágában. A Power-to-Gas Hungary Kft. tevékenységének középpontjába egy olyan biometanizációs technológia fejlesztését és a közép-kelet-európai régióban történő elterjesztését helyezte, amelynek a földgázhálózatba injektálható, legalább 98%_(v/v) metán-koncentrációjú gázkeverék a végterméke [7]. Az energiaszektor globális átalakulása során előtérbe került innovációs képességek [8, 9] alapja – az általános elméleti összefüggések és az empirikus iparági tapasztalatok alapján – az olyan vállalati tudás, amely támogathatja a K+F+I folyamatokat [10, 11, 12]. Így a nemzetközi innovációs trendekkel és a technológiai tudásfejlesztés fontosságával összhangban, a Power-to-Gas Hungary Kft. K+F+I célja összetett:

- olyan K+F+I tevékenységet kell folytatni, amely új eredményeivel biztosítja a magas gázkihozataalt,
- támogatja a hatékony és biztonságos kereskedelmi léptékű üzemet,
- az eredmények reprodukálhatók, vonzóvá teszik a technológiát a befektetők számára.

E cél elérése érdekében a Power-to-Gas Hungary Kft. az Electrochaea GmbH-val közösen fejlesztett laboratóriumi méretű prototípust üzemelteti. Az Electrochaea GmbH BioCat üze me a dániai Avedøre-ban a legnagyobb kereskedelmi méretű, biológiai metanizációs technológiát alkalmazó 1MW_{el} névleges elektrolizátor teljesítménnyel rendelkező P2G üzem [13].

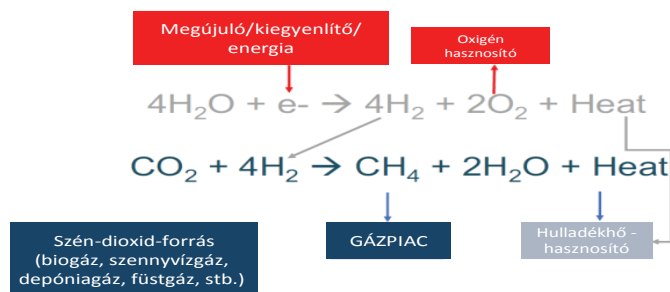
Elméleti és módszertani keretek

A Power-to-Gas Hungary Kft. 2018 áprilisa óta üzemelteti a biometanizációs eljárás alapján innovatív, laborméretű prototípusát. Ez a prototípus tartalmazza a power-to-gas technológia fejlesztés megvalósításához szükséges valamennyi elemet, amely funkcionálisan modellezi a kereskedelmi léptékű/nagyüzemi berendezés egységeit. [14]

Mivel a prototípus egyedi, így már a szokásos üzemeltetési tapasztalatok is az alapját képezik a műszaki, mikrobiológiai és azok multidiszciplináit alkalmazó tudományterületeken végzendő kutatás-fejlesztési tevékenységnek. A szén-dioxid konverziós folyamat két eljárásra osztható:

- hidrogén előállítása megújuló forrásból származó villamos energia felhasználásával,
- a keletkezett hidrogén és szén-dioxid forrás keverését követően biometán előállítása.

Ezt a két folyamatot szemlélteti az 1. ábra:

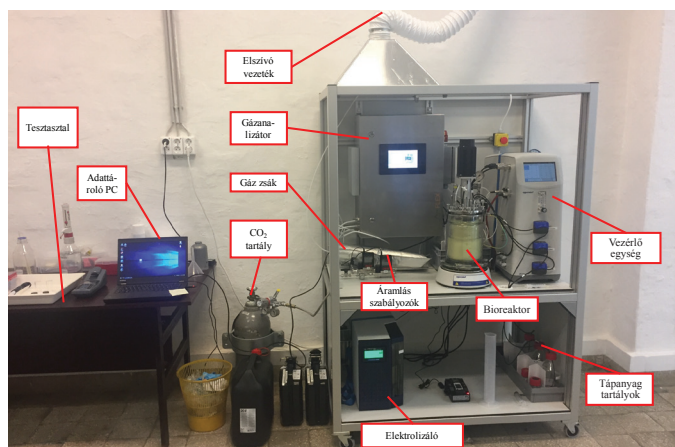


1. ábra. Power-to-Gas (P2G) eljárás során megvalósuló kémiai reakciók [6]

A Power-to-Gas Hungary Kft. prototípusa

A megvalósuló folyamat a Sabatier-reakció [15], azzal a különbséggel, hogy a katalizátor ebben az esetben nem nikkel, hanem egy speciális mikroorganizmus. Az archeák közé tartozó *Methanobacter Thermoautotrophicus*, szabadalmi oltalom alatt álló [16] törzs, több évi kutatómunka és fejlesztés eredménye. A törzs különlegességét támasztja alá a szabadalmi bejegyzés is, amely szerint a mikroorganizmus minden 25 szén-dioxid molekulából átlagosan egyet épít be a metabolizmusa során, a többit szelektíven, robusztus módon alakítja metánná [8].

A prototípus főbb részeit képezi:



2. ábra. Power-to-Gas Hungary Kft. laboratóriumi méretű prototípusa [17]

- Alumínium zártszelvényből összeállított keret, alján a prototípus mozgatóására szolgáló önbeálló kerekekkel.
- A Polimer elektrolit membrán (PEM) elektrolizátor feladata a hidrogén előállítása. A hidrogéntermelés 5.4 bar_g nyomáson történik, az eszközben beépített műgyanta szűrő és gázszáritó egység található.
- Az áramszabályozók feladata az 5 bar_g nyomású gázok mbar_g tartományba történő lehatárolása. Két darab szabályozó került beépítésre: az egyik felelős a 4.5 tisztaságú tartályos szén-dioxid, a másik pedig az előzőekben ismertetett, az elektrolizátorból származó hidrogén tömegáramának szabályozására. A tömegáram szabályozókkal lehet beállítani az előzőekben bemutatott elméleti 4:1 hidrogén: szén-dioxid tömegáram arányt.
- A két, szabályozott inputanyag homogenizált gázáram keverése külön egységben történik. A gázáramok 2 liter úrtar-

tálmú folytonos keverésű tankreaktorba (CSTR) kerülnek bevezetésre. A reaktortartály Rushton-féle keverővel, terelőlapátokkal, a keverékgázt bevezető gázbuborékolttal csővel, tápanyagok bejuttatására és a keletkezett metabolikus víz elvezetésére használható, zárható adagolónyílásokkal van felszerelve. Indításkor a közeg hőmérsékletét vízköpenyűtéssel lehet emelni – tartós üzem során a biokémiai reakció exoterm, a keletkezett hőt a környezetbe vezetjük el.

- A reaktor hőmérsékletszabályozását egy vezérlőegység végzi. A vezérlőegységbe épített perisztaltikus szivattyúk a fehérjeszintézishez szükséges nitrogén és a kén [18] alapú tápoldatokat juttatják be a reaktorba. A tápoldattartályok a keret alján találhatóak. A nitrogén (ammónium-hidroxid) tartalmú tápoldatba – receptúra szerint – habzásgátló anyagot keverünk.
- Folyadékcsapda akadályozza meg a szubsztrátum esetleges túláramlását. A kontroller mögött található tároló másik célja, hogy védje a hidrogén, szén-dioxid és metán részarányát mérő gázanalizátor egységet. Mivel a gázanalizátor méréséhez szükséges gáz mennyisége és nyomása meghaladja a rendszer üzemi nyomását és a keverékgáz térfogatáramát, ezért egy gázzsákot használunk a reaktorból kilépő gázok felfogására és nyomásfokozására.
- A mérést követően a termékgáz egy alumínium gázdómon keresztül, ventilátor elszívással távozik a szabadba.

Az 1. ábra alapján víz mindig keletkezik, a reakció elhagyhatatlan része. A keletkezett metabolikus vizet automatikusan is ki lehet vezetni a reaktortartályból, a vezérlőegység harmadik beépített szivattyúja ezt a funkciót láthatja el. A gyakorlatban ezt az egységet nem használjuk, mivel a víz elvételét egyszerűbb és gyorsabb egy fecskendővel elvégezni. Mivel a bevitt tápanyagok vízben oldódnak, a mikroorganizmusokkal szubsztrátumot képeznek, így kizárólag a folyamat során keletkezett víz eltávolítása önmagában nem lehetséges. A víz leszívása során elkerülhetetlen az aktív biokatalizátor és az oldott mikrotápanyagok vízzel történő eltávolítása. Ez utóbbi kritikus lehet a mikroorganizmus megfelelő élettevékenységeinek biztosítása szempontjából, ezért két, adott receptúra szerinti, különböző töménységű és mikrotápanyag-összetételű oldatból az eltávolított tápanyagokat – a leszívott szubsztrátum térfogatával arányosan – pótolni kell [19].

A prototípussal végzett K+F+I és üzemeltetési tevékenységek főbb paramétereit üzemnaplóba vezetjük. A biokatalizátor állapotának rögzítéséhez optikai sűrűségmérő, redox-potenciál mérő és pH mérő kéziműszereket alkalmazunk.

Más fejlesztők prototípusai

A P2G technológia fejlesztésére több műhely, ipari tevékenységet folytató cég is vállalkozott. Több kutatás-fejlesztési pilot kísérlet folyik Németországban – ezek nagy része termokatalitikus folyamatokat alkalmaz [20] – így azok közvetlenül nem hasonlíthatók össze a biometanizációs eljárásokat alkalmazó kísérleti berendezésekkel. Az egyik német szakmai weboldal [21] összesen 33 db projektet mutat be, amelyek jellemzően 300 kW_{el} és 6 MW_{el} közötti elektrolizátor névleges villamos kapacitás mellett magas, akár 800°C hőmérsékleten és 40 bar_g meghaladó nyomáson üzemelnek. A termokatalitikus folyamatok kutatás-fejlesztésére használt prototípusok méreteiben és beépített villamos teljesítményeikben is meghaladják az általunk alkalmazott berendezés főbb paramé-

tereit. A HELMETH (Integrated High-Temperature Electrolysis and Methanation for Effective Power to Gas Conversion) projekt üzemhőmérséklete például 870 – 920 °C tartományba esett, üzemi (gőz) nyomása pedig átlagosan 30 bar_g volt. [22]

Korábban az Electrochaea GmbH tervezett laborméretű P2G prototípust az Audi cég számára. A német prototípus komplexitása alacsonyabb volt, mint a Power-to-Gas Hungary Kft. oroszlányi telephelyén üzemeltetett berendezése. Az összeállítás ugyanazt a biokatalizátort tartalmazta, de felépítésében kisebb, csak 1,4 l-es reaktorról lett felszerelve, nem rendelkezett gázanalízissal, valamint a hozzá tartozó gázszákkal. Így a prototípus csak demonstrációs célokra volt használható.

Magyar viszonylatban ismeretek jellemzően a biogáz tisztítására, szén-dioxid tartalmának leválasztása utáni hasznosításra állnak rendelkezésre. Kereskedelmi méretű üzemek közül a kaposvári Magyar Cukor Zrt. fermentoraiban termelt biogáz szén-dioxid tartalma leválasztását követően évente kb. 5 millió nm³ 98%-os koncentrációjú biometán kerül betáplálásra a földgázhálózatba. [24]

A legfontosabb biometanizációs projektek főbb ismérveit az 1. táblázat mutatja be.

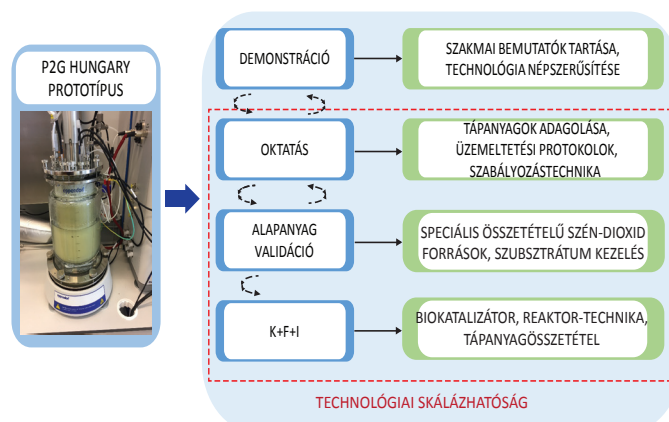
1. táblázat. Legfontosabb biometanizációt alkalmazó projektek bemutatása [25], [26], [27]

Projekt neve	Szén-dioxid forrás	Beépített elektrolizátor kapacitás [kW _{el}]	Helyszín	Főbb jellemzők
P2G-BioCat	Szennyvíziszap	1000	Avedore (Dánia)	Legnagyobb biometanizációs projekt, korábbi CHP egységeket a P2G üzem teljesen kiváltja
MicroEnergy – BioPower2Gas	Biogáz	300	Allendorf (Németország)	Első kereskedelmi léptékű biometanizációs üzem, amely földgázhálózatra csatlakozik. Indítás: 2013.
P2G Solar Energy Storage	n.a.	150	Irvine (Egyesült Államok)	Hidrogén (P2H) és metán (P2M) hálózatba történő betáplálása, az első P2G üzem az Egyesült Államokban a University of California területén
P2G im Eucolino	Biogáz	108	Schwandorf (Németország)	Konténerbe épített egység, helyi hőhasznosítással. Szén-dioxid térfogatáram: 5 m ³ /h
RAG - Underground Sun Storage	n.a.	500	Pilsback (Ausztria)	A projekt power-to-hydrogen technológia alkalmazására fókuszál első sorban, de gáztárolókban való biometanizáció is kutatási terület
STORE&GO	Biogáz/bioetanol	1000	Falkenhagen (Németország)	Strukturált falú, katalitikus méhsejt reaktor alkalmazása, hőhasznosítás a helyi fűtőhálózaton
	Szennyvíziszap	700	Solothurn (Svájc)	Biometanizációs eljárás, hőhasznosítás módja: távfűtés
	Légköri szén-dioxid	200	Troia (Olaszország)	Moduláris milli-strukturált katalitikus metanizációs reaktorok alkalmazása. Az INGRID projekt elektrolízatorainak "megőrzése"

A táblázatban foglalt demonstrációs projektek közül csak néhány rendelkezik laborméretű prototípussal [25]:

- a Viessmann cégcsoportba tartozó Microenergy 10 literes reaktort készített a technológia igazolására (proof-of-concept).
- az Electrochaea 2011-ben 1 kW_{el} elektrolizátor kapacitású prototípust készített az Egyesült Államokbeli St. Louis sörgyári hulladékát feldolgozó fermentor termékének tesztelésére. Az ipari biogáz a metán és a szén-dioxid mellett 7000 ppm kén-hidrogént is tartalmazott.
- ahogy a korábbiakban is említésre került szintén az Electrochaea készítette az Audi számára a biometanizációs prototípust. A prototípus fő feladata a demonstráció volt.

A nyilvánosan elérhető információk alapján egyik prototípus sem képes ellátni azt a komplex feladatrendszert, amelyet a Power-to-Gas Hungary Kft. által továbbfejlesztett egység valósít meg. A prototípus által megvalósított főbb funkciókat a 3. ábra szemlélteti:



3. ábra. Power-to-Gas Hungary Kft. laboratóriumi méretű funkciói (saját szerkesztés)

A fő funkciók – oktatás, demonstráció, alapanyag validáció, K+F+I – egymással is kapcsolatban állnak, egyik eredménye befolyásolja a többi célt és tevékenységet. Az ismertetett prototípusok vagy csak kizárólag a technológia igazolását szolgálják, vagy nem mobil kivitellűek, esetleg nem képesek ellátni az eredmények közvetlen visszacsatolását, ezért folyamatszabályozási képzésekre közvetlenül nem használhatóak fel.

A technológia skálázhatósága

A skálázhatóság fogalma az információs technológia területéről származik. A felskálázás folyamata arra utal, hogy bemenő inputok növekedése esetén egy rendszer/szolgáltatás biztonsággal meg tud-e valósulni. [28] A P2G technológia esetében ez azt jelenti, hogy a prototípus által megvalósított folyamatok, mérési eredmények a kereskedelmi léptékű – MW_{el} nagyságrendű elektrolizátor kapacitáshoz – üzemeknél is hasonlóképpen zajlanak le, így az új eredmények a méretnövekedés esetén is alkalmazhatóak.

A prototípus kereskedelmi léptékre történő felskálázhatóságát támogató funkciói piros pontozott keretben láthatóak a 3. ábrán.

A technológia skálázhatósága bizonyított [17], [29]. A saját gyakorlati tapasztalatok alapján a felskálázhatóságot alátámasztó tevékenységek két csoportba sorolhatjuk:

- Üzemeltetéshez köthető tevékenységek, amelynek célja a tréningek tartása, adott üzemmódokhoz köthető protokollok begyakorlása, üzemeltetési kockázatok csökkentése, veszélyek elhárításának szimulációja.
- K+F+I tevékenységek célja új ismeretek szerzése, amely szoros kapcsolatban áll a prototípus fejlesztésével.

Az üzemeltetéshez köthető tevékenységek esetében a 2. táblázat szerinti üzemmódok kerülnek megvalósításra.

Névleges üzem esetén a prototípust alapbeállítások szerint üzemeltetjük. A villamosenergia-termelés és –ellátás volatilitását Stop&Go rendszer szerint szimuláljuk. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy 1 munkahétig üzemeltetjük a prototípust, majd azt követően 1 hétig lekapcsolt állapotban – *Hidegkészlet* üzemmódban – hagyjuk. Ezalatt az idő alatt a biokatalizátor nem aktív, ugyan-

2. táblázat. P2G prototípus üzem módjai (saját szerkesztés)

Üzemeltetési szcenárió	Leírás
Hidegkészenlét	A berendezés indítása környezeti hőmérsékletre hosszú leállítást követően
Melegkészenlét	A berendezés indítása normál üzemi hőmérsékletre
Fokozatos felfuttatás	Prototípus hidrogén- és széndioxidáramának lépcsőnkénti növelése magas széndioxid-konverzió értéket biztosítva
Névleges üzem	Folyamatos üzem biztosítása - széndioxid-konverzió, VVD és gázösszetétel határérték feletti biztosításával
Nyomonkövetés	Gáztermelés optimalizálása ingadozó hidrogénellátás (rendelkezésre álló, megújuló villamos energia) mellett
Helyreállítás	Prototípus üzemének biztosítása hibajelenséget követően

akkor az indítási protokoll megkezdésétől számítva néhány óra alatt a névleges gázösszetételt elérjük. Mivel a reaktor megközelítőleg atmoszférikus nyomás alatt üzemel, ezért a termékgáz metánkoncentrációja alacsonyabb – általában 60-70%_(V/V) [17]. A mikrotápanyagok napi bejuttatása során a *Melegkészenlét* üzemmód valósul meg. A biokatalizátorban történő változtatásokat a *Fokozatos felfuttatás* során figyelhetjük meg – ez az üzemeltetési módszer alkalmas arra, hogy regisztrálni tudjuk a biokatalizátorban végbemenő változásokat. *Helyreállítás üzemmódot* akkor alkalmazunk, ha a biokatalizátort olyan hatás éri, amely radikálisan lecsökkenti a benne található archea metabolikus tevékenységét.

Ezek az üzem módoknak a biztosítása az Avedørban található, kereskedelmi léptékű üzemben is a prototípus esetében alkalmazhatóhoz hasonlóan valósulnak meg. A szabályozási folyamatokra mindkét P2G berendezés esetében az alábbi paraméterek változása gyakorol hatást:

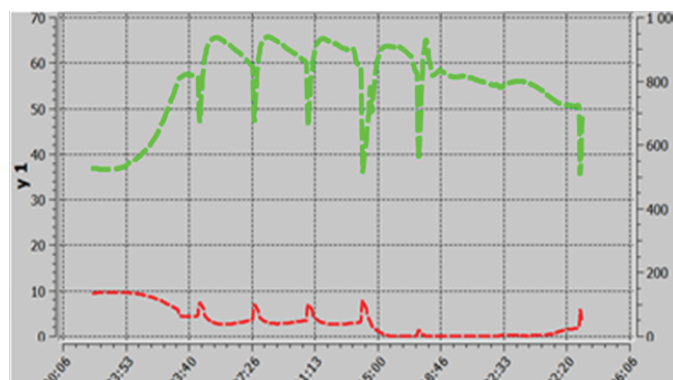
- hőmérséklet,
- pH, ORP és OD értéke,
- keverő fordulatszáma,
- hidrogén és széndioxid térfogatárama,
- hidrogén : széndioxid arány,
- ammónia és kén dózisolása,
- mikrotápanyagok bejuttatásának időköze.

A prototípus úgy került kialakításra, hogy a szabályozása kövesse a BioCat project szabályozási metodikáját. Az alkalmazott folyamatirányítási modell a gyakorlatból származik, ezért tökéletesen megfelel a felskálázás elvégzésére. [13]

Az adott üzem módokat a kísérleti berendezésben teszteltük. A vezérlőegység beállításait, a kéziműszerekkel végzett méréseket

és a gázanalizátor által szolgáltatott eredményeket folyamatosan rögzítettük.

A második – K+F+I tevékenységek – csoportba tartozó kísérletek olyan folyamatokat tartalmaznak, amelyek az előre definiált üzem módokhoz tartozó protokollok, valamint a technológiai előírásoktól, műszaki megvalósításukban eltérnek. A tevékenységek folytatására kutatás-fejlesztési és innovációs tervet készítettünk, amelyben a tevékenységekkel kapcsolatos előrehaladást rögzítettük. A K+F+I folyamatokat és azok eredményeit saját digitális felületen is regisztráljuk, elősegítve a hálózatban dolgozó kutatóknak a probléma megoldására vonatkozó szakmai tevékenységét. Jelenleg olyan kísérletsorozatot folytatunk, amely során a receptúrákból adott mikrotápanyagot elhagyunk, majd az etalonmérések eredményeihez viszonyítva vizsgáljuk a biokatalizátorból történő tápanyagkimosódást és annak fajlagos gázkihozatalra (VVD), gázösszetételre gyakorolt hatását. Az eredmények a gázanalizátor kijelzőjén is megjelennek – zöld színnel a metán, piros színnel a széndioxid koncentráció időbeli változását szemlélteti a 4. ábra:



4. ábra. Nikkel mikrotápanyag hatása a gázösszetételre (saját fotó)

Az ábrán látható lokális minimumok a prototípus napi tápanyag-bejuttatása során történő leállítás – Melegkészenléti üzemmód – következményei.

További fejlesztési lehetőségek és konklúzió

A P2G laborméretű prototípus kivételes tulajdonsága, hogy a demonstráció, oktatás, alapanyag validáció és K+F+I funkciókat akár egyidejűleg is ellátja. Ezek a funkciók egymást erősítve járulnak hozzá az eredmények kereskedelmi léptékű üzemek elméleti és gyakorlati know-how bázisának a gyarapításához, amely előnyt biztosít más prototípust gyártó és fejlesztő versenytársokhoz képest.

Az innovatív power-to-gas prototípus által végzett kísérletek és eddigi mérési eredményeink alapján a Power-to-Gas Hungary Kft. 2019. évi K+F+I akciótervét öt pontban fogalmaztuk meg:

1. Törekvés piacképes, üzletileg hasznosítható eredmények elérésére
2. Törekvés az újszerű technológiák és szolgáltatások bevezetésére - adaptív innováció
3. Kutatás-fejlesztési, termelési és szolgáltatási kapacitás bővítése
4. Innovációs tanácsadás és az innovációt támogató szolgáltatások integrálása
5. Technológiai és üzleti modell innovációja révén elért új termékek, szolgáltatások

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet a Power-to-Gas Hungary Kft. befektetőinek, a Smart Future Lab Zrt. / MVM Csoport, illetve a Hiventures Zrt. / MFB Csoport képviselőinek, valamint a Vértesi Erőmű Zrt.-nek a K+F+I tevékenységek megvalósításának támogatásáért.

Irodalmi hivatkozások

- [1] T. v. M. Hofsteenge, Daan Peters, Jenny Cherkasky, Rik Wesels, Goher Ur és Rehman Mir, „Gas for Climate – How gas can help to achieve the Paris Agreement target in an affordable way,” *Study published by Ecofys*, pp. 1-55, 2018.
- [2] Energy Roadmap 2050, „Power Perspective 2030,” [Online]. Available: <https://www.roadmap2050.eu/project/power-perspective-2030>. [Accessed 18 03 2019].
- [3] Energy Roadmap 2050, „A Practical Guide to a Prosperous, Low-Carbon Europe,” 2019. [Online]. Available: <https://www.roadmap2050.eu/>. [Hozzáférés dátuma: 18 03 2019].
- [4] „Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030,” COM/2014/015 final. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52014DC0015>. [Accessed 18.03.2019].
- [5] United States Environmental Protection Agency, „Global Anthropogenic Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020,” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-05/documents/globalanthroemissionsreport.pdf>. [Accessed 18.03.2019].
- [6] E. B. Association, „Biogas Trends For This Year,” [Online]. Available: <http://european-biogas.eu/2019/02/06/biogas-trends-for-this-year/>. [Accessed 18 03 2019].
- [7] Z. Csédő, „Power-to-Gas: egy ígéretes lehetőség a megújuló energiaforrások integrációjára,” *Zöld Ipar Magazin*, 7 (10), pp. 28-29, 2017.
- [8] Z. Csédő, M. Zavarkó and Z. Sára, „A vállalati innováció által indukált szervezeti változások a magyar energiaszektorban,” *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 49 (2), pp. 53-62. DOI: 10.14267/VEZTUD.2018.02.06, 2018.
- [9] M. Zavarkó, Z. Bertalan, Z. Sára and Z. Csédő, „Innovation and Knowledge Management in the Energy Sector,” *Journal of Energy Technologies and Policy*, 7 (1), pp. 45-53, 2017.
- [10] Z. Csédő, M. Zavarkó and Z. Sára, „Tudásmenedzsment és stratégiai kettős képesség: felsővezetői döntések elemzése az innovációs stratégia megvalósítása során,” *Vezetéstudomány*, p. Megjelenés alatt, 2019.
- [11] Z. Sára, Z. Csédő, J. Fejes, T. Tóth and G. Pörzse, „Innovációmenedzsment és innovációs stratégiák – a vállalati tudás szerepe az innovációs folyamatokban,” *Vezetéstudomány/ Budapest Management Review*, 45 (10), pp. 42-48., 2014.
- [12] Z. Sára, C. Z., J. Fejes, T. Tóth and G. Pörzse, „Innovation Management in Central and Eastern Europe: Technology Perspectives and EU Policy Implications,” *Journal of Economics and Sustainable Development*, 4 (4), pp. 48-56, 2013.
- [13] Electrochaea GmbH, „How the technology works,” 2019. [Online]. Available: <http://www.electrochaea.com/technology/>. [Accessed 18 03 2019].
- [14] Z. Csédő, B. Sinóros-Szabó and M. Zavarkó, „Biométánt előállító és hasznosító powerto-gas technológia műszaki és rendszerszintű fejlesztése,” in „Hogyan tovább a klímatudatos jövő felé?” konferencia, 2018.11.26., Innovációs és T, in *Innovációs és Technológia Minisztérium*, Budapest, 2018.
- [15] F. Re, C. Toro and E. Sciubba, „Sabatier Based Cycle for CO2 Methanation: Exergy and Thermo-Economic Analysis. 10.1115/IMECE2017-70532.”
- [16] L. Mets, „Methanobacter Thermoautotrophicus Strain and Variants”. Patent EP2661511B1, 2012.
- [17] B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, F. Popp, P. Grima and Z. Csédő, „Biomethane production monitoring and data analysis based on the practical operation experiences of an innovative power-to-gas benchscale prototype,” *Journal of Agricultural Sciences*, vol. 150, pp. 399-410, 2018.
- [18] M. R. Martin, J. J. Fornero, R. Stark, L. Mets and L. T. Angenent, „Matthew R. Martin, Jeffrey J. Fornero, Rebecca Stark, Laurens Mets és L. T. Angenent: A Single-Culture Bioprocess of Methanothermobacter thermoautotrophicus to Upgrade Digester Biogas by CO2-to-CH4 Conversion with H2,” *Archea*, Article ID 157529, 2013.
- [19] Electrochaea GmbH, „How the technology works,” [Online]. Available: <http://biocat-project.com/about-the-project>. [Accessed 03 03 2019].
- [20] M. Götz, J. Lefebvre, F. Mörs, A. McDaniel Koch, F. „Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review,” *Renewable Energy*, 85, pp. 1371-1390, 2016., *Renewable Energy*, pp. 1371–1390, 2016.
- [21] Strategieplattform Power to Gas, „Pilotprojekte im Überblick,” [Online]. Available: http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/?no_cache=1. [Accessed 18 03 2019].
- [22] EC, „Integrated High-Temperature Electrolysis and Methanation for Effective Power to Gas Conversion,” [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/185716/reporting/en>. [Accessed 18 03 2019].
- [23] Power-to-Gas Hungary Kft., *Prototípus tervet megalapozó jelentés*, Budapest, 2018.
- [24] K. Tünde, „Biogáz betáplálása az együttműködő földgázrendszerbe,” 2016. [Online]. Available: http://www.magyarenergetika.hu/wp-content/uploads/energia_muhely_dok/cikk3534_Koteles_XX_Energetikai_Szimposium_biogaz.pptx.. [Accessed 20 03 2019].
- [25] M. Bailera, P. Lisbona, L. M. Romeo and S. Espatorelo, „Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO2,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 69, pp. 292-312, 2017.
- [26] RAG Austria, „Underground Sun Storage,” [Online]. Available: <https://www.underground-sun-storage.at/en.html>. [Accessed 20 03 2019].
- [27] STORE&GO, „About the Project,” [Online]. Available: <https://storeandgo.info/>. [Accessed 20 03 2019].
- [28] T. W. Shinder and D. L. Shinder, „Chapter 3 – Stalking the Competition: How ISA 2004 Stacks Up,” in *Configuring ISA Server 2004*, Syngress Publishing, 2005, pp. 143-234.
- [29] D. Fontaine, P. Grima, M. Hoerl, L. Mets, M. Forstmeier and D. Hafenbrad, „Power-to-Gas by Biomethanation – From Laboratory to Megawatt Scale,” *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences Special Issue: Advances & Trends in Biogas and Biorefineries*, vol. 82 (4) 1 – 190, pp. 183-187, 2017.

Egy Power-to-Gas alapú komplex energiatárolási kutató-fejlesztőközpont terve – kihívások, kapcsolódó kutatások

Dr. Imre Attila

egyetemi tanár^{1,2}, imreattila@energia.bme.hu

Dr. Szentannai Pál

egyetemi docens^{1,2}, szentannai@energia.bme.hu

Kustán Réka

PhD hallgató¹, kustan@energia.bme.hu

Dr. László Krisztina

egyetemi tanár³, klaszo@mail.bme.hu

Dr. Groniewsky Axel

egyetemi adjunktus¹, groniewsky@energia.bme.hu

Domán Andrea

PhD hallgató³, doman.andrea@mail.bme.hu

¹ BME GPK Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

² MTA Energetikai Kutatóközpont

³ BME VBK Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

A Power-to-Gas (P2G) technológia a kémiai energiatárolás egy viszonylag új formája, amiben a fel nem használt villamos energiát üzemanyaggá, esetünkben metánná alakítják. Ennek az átalakításnak két útja ismert; egy tisztán kémiai, ami magas hőmérsékleten és nyomáson működik, valamint egy mikrobiológiai, ahol mind a nyomás, mind a hőmérséklet – és így összességében az energiaigény – jóval alacsonyabb. Ebben a cikkben egy komplex kutatási és innovációs központ tervét mutatjuk be, amely egy Power-to-Gas erőmű köré épülne. Bemutatjuk és elemezzük a különböző kapcsolódó egységeket, mint pl. az energiatároló egységek, a hulladékhő-tárolók, a hulladékhő-hasznosító munkaszolgáltató körfolyamatok, a különböző alapon működő gáztárolók stb.

*

Power-to-Gas technology is a novel way for chemical energy storage, turning surplus electricity to fuel, particularly to methane. There are two different ways for this process, a purely chemical one, requiring very high temperature and pressure and a microbiological one, running on low temperature and low pressure with relatively low energy consumption. In this paper, the plan for a complex research and innovation centre is presented, using the Power-to-gas plant as central unit and showing the connection points of various other energy-storage and waste heat storage units, heat-to-work conversion units, gas storage units, etc.

Power-to-Fuel (P2F)¹ technológiáknak azokat a módszereket nevezzük, amikor villamos energiából valami más, kémiai úton hasznosítható üzemanyagot hozunk létre. A szerves kémia mai állása szerint vízből, széndioxidból és kellő mennyiségű energiából majdnem minden, ma használatos üzemanyagot el lehetne készíteni, akár mesterséges benzint vagy gázolajat, esetleg szilárd szén is. Ezeknek az üzemanyagoknak az előállításához szükség van valamelykor energiára, aminek egy részét nem fogjuk visszanyerni; minél több lépésben jutunk el a szóban forgó üzemanyagig, annál nagyobb lesz a veszteség, viszont általában annál könnyebben fel-

használható a kapott üzemanyag. A folyamat első lépése minden esetben a vízbontás, amikor oxigént, illetve hidrogént kapunk. Ez a hidrogén lehet – a szén-dioxid mellett – a P2F technológiák egyik alapanyaga, de akár közvetlenül is felhasználható üzemanyagként. A veszteség itt lenne a legkevesebb (egy lépésben jutottunk ide), ellenben a közvetlen üzemanyag-célú felhasználás, illetve a tárolás nem egyszerű [Schiller, 2013]. A sor másik végén áll a mesterséges benzin és gázolaj; ezek tárolása és felhasználása tökéletesen megoldott, ellenben az össz-energiaveszteség, amíg az alapanyagokból ezekhez az anyagokhoz eljutunk, elég nagy. Ebből is látható, hogy egy – szerencsére nem túl bonyolult – optimalizációs problémát kell megoldanunk, egy olyan üzemanyagig kell eljutni, amely előállításához nem kell sok lépés, de maga az üzemanyag könnyen előállítható, tárolható és felhasználható.

A hidrogén után a sorban a következő anyag a metán lesz; az ennek a két anyagnak (és az ammóniának) az előállítására használt technológiákat Power-to-Gas (P2G) technológiáknak nevezik; bár előfordul, hogy a megnevezésben megjelöljük a végterméket is, mint pl. Power-to-Hydrogen (P2H) vagy Power-to-Methane (P2M), ezek az elnevezések nem váltak elterjedté.

Hidrogénből és széndioxidból kétféleképp lehet metánt előállítani. Az egyik egy kémiai reakción, az ún. Sabatier reakción alapul, ami egy magas nyomáson és hőmérsékleten lejátszódó folyamat, és mint ilyen, elég nagy az energiaigénye [ld. pl. Rönsch és mtsai, 2016]. Egy alternatív út a mikrobiológiai átalakítás [ld. pl. Geppert és mtsai., 2016]. Bár mindkettővel kapcsolatban folynak kutatások, Magyarországon jelenleg a mikrobiológiai metanizáció hasznosításának van több realitása [Csedő, 2017; Sinóros-Szabó és mtsai, 2018].

A metán egy könnyen felhasználható üzemanyag, tárolása, szállítása megoldott és bár a járművekben való felhasználásnál akadnak még megoldandó tárolási problémák, úgy tűnik, hogy ez az anyag lesz az, ameddig érdemes elmenni a P2F láncban. Jelenleg a világon több projekt is fut, amelyben a P2G technológiával próbálnak ipari méretekben metánt előállítani. Mivel ez a mikrobiológiai metanizációs technológia nagyon ígéretesnek tűnik, ezért a Power-to-Gas Hungary Kft. (<https://p2g.hu/>) 2018-ban Magyarországon is elindította az első, laboratórium-méretű prototípust, aminek az eredményei alapján várhatóan rövid belül már lehetséges lesz az ipari méretű egységek megépítése is.

¹ Gyakori még a P2X és a P2Y jelölés is; ezek a jelölések jelentése eredetileg Power-to-Everything (azaz villamos energiából mindenfélé) volt, de manapság leggyakrabban a (kémiai) üzemanyagokká való átalakításra használják, beleértve a hidrogént, metánt, ammóniát, metanolt és még sok más.

Gyakori kritika a P2G-P2M technológiákkal szemben, hogy energiatárolásként kisebb hatásfokúak, mint pl. az akkumulátoros tárolók. Ez rövid távú tárolásnál igaz, de a hosszú távú tárolás tekintetében jobbak az eredmények, mint az akkumulátoroknál, azaz az előállított metán nagyon kis veszteséggel tárolható akár évekig is, míg az akkumulátoros tárolásnál ekkor a veszteségek már nagyok. Ugyancsak figyelembe kell venni, hogy a P2G kapacitás növelésének nincsenek olyan határai, mint amilyen pl. a lítiumos akkumulátoroknál a lítium korlátozott hozzáférése és növekvő ára.

A hatásfokkal kapcsolatos kritikák kapcsán még egy dolgot szükséges kiemelni. A P2G technológia – hasonlóan a többi energiatárolási technológiához – nemcsak egy tárolási, hanem egy szabályozási eszköz is. A P2G Hungary által továbbfejlesztett technológia lehetővé teszi a termelés pár percen belüli megindítását/leállítását, így gyorsan tud reagálni arra, ha a villamosenergia-termelés meghaladja a felhasználást és a magyarországi földgázhálózat nagy kapacitásának köszönhetően akár az akkumulátor-parkok által eltárolhatónál jóval nagyobb mennyiségű felesleges villamos energiát is át lehet alakítani később bármikor felhasználható metánná.

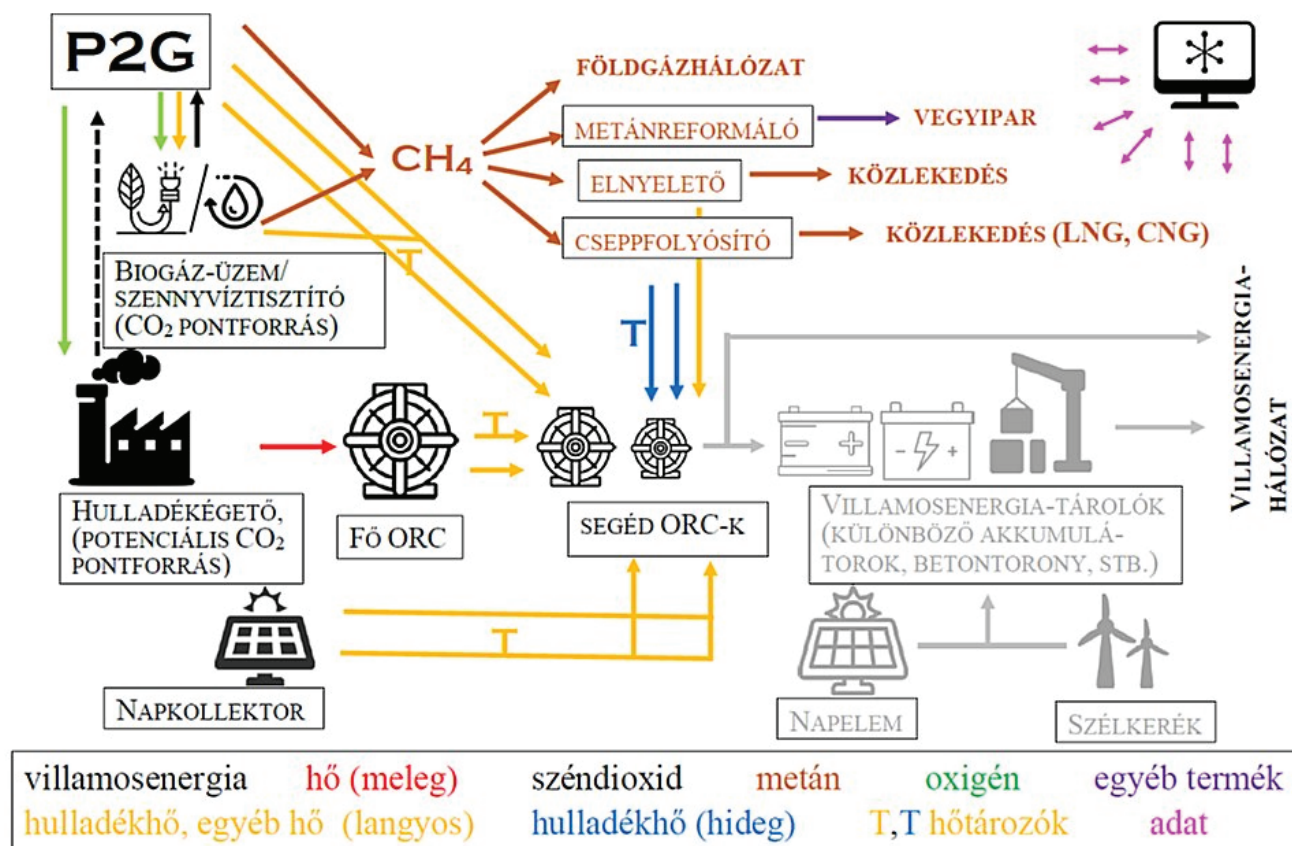
A P2G alapú metántermelés – sok más ipari folyamathoz hasonlóan – nem egy egylépcsős, egyváltozós, egyszerű folyamat. Már csupán a bemeneteli és kimeneteli oldalt megvizsgálva is azt látjuk, hogy bemenő oldalon széndioxid, víz és villamos energia van, míg a kimenő oldali termékek közt a metán mellett oxigén és hulladékhő is szerepel. A technológia elsődleges célja a metántermelés, amit a három bemenő „alapanyag” és a három kimenő „termék” optimalizálásával tudunk befolyásolni, de gyakran nem a maximális kitermelés jelenti az optimumot. Figyelembe kell venni gazdasági és technológiai kérdéseket is, mint pl. a villamos energia változó árú rendelkezésre állása, vagy a fő-, illetve mellékter-

mékek iránti igény. Az így felmerülő kérdéseket csak akkor tudjuk megválaszolni, ha a P2G technológiát nem önmagában, hanem egy nagy, virtuális vagy valós, energiatároló rendszerben vizsgáljuk. Az alábbiakban egy Power-to-Gas központú komplex energiatároló kutatási és innovációs központ tervét ismertetjük, kiemelve az egyes egységekhez kapcsolódó kutatási és innovációs feladatokat.

P2G Kutatási és Innovációs Központ – P2G-KIK

Az energiatároló központ sématiskus terve az 1. ábrán látható. Az egyes blokkok nevét feltüntettük az ábrán. A színes vonalak a különböző „alapanyagokat”, „közbulső termékeket” és „végtermékeket” jelölik (a magyarázatot ld. az ábra alján); az idézőjelek használatát az egyes, nem szokványos anyag vagy termék (mint pl. hulladékhő vagy adat) teszi indokolttá. A szürkített rész a P2G technológiához nem közvetlenül kapcsolódó, de energiatárolás szempontjából fontos részeket jelöli. Ezekkel a későbbiekben csak röviden foglalkozunk, míg a P2G technológiához kötődő kutatási és innovációs irányokat részletesebben is megvizsgáljuk.

A P2G-KIK központi eleme egy kisebb, de már ipari méretű, metánt előállító P2G egység lenne. Az egységnek szüksége lesz villamos energiára, amit a hálózatról nyerne. Ennek nagy része a vízbontáshoz szükséges, ami az egyik bemenő alapanyagot, a hidrogént biztosítaná, miközben már ebben a lépésben is keletkezne két melléktermék; tiszta oxigén és 60-70 °C körüli hulladékhő. Bár a vízbontás egy régóta ismert folyamat, a hozzá szükséges energia nagy, így jelenleg is komoly kutatások folynak, hogyan lehetne a szükséges energiát megfelelő katalizátorok alkalmazásával csökkenteni. A metanizáció másik alapanyaga a széndioxid. Ennek forrása a jelenlegi tervek szerint egy biogáz-egység vagy szennyvíztisztító, illetve egy olyan üzem, ahol nagy mennyiségű, tiszta széndioxid keletkezik (pl. sörgyár). Az itt keletkező széndioxid



1. ábra. A P2G Kutatási és Innovációs Központ sématiskus terve

elégíteni ki a P2G technológia szükségleteit. Amennyiben ebben a primer CO₂ forrásként szolgáló egységben metán is keletkezne, az a P2G technológia végtermékeként kapott metánnal együtt kerülne később felhasználásra/elszállításra. A melléktermékként keletkező oxigént egyes esetekben mintegy a kapott tiszta széndioxid ellentételezésére a primer forrás kaphatná meg; pl. egyes szennyvíztisztító technológiákhoz szükség van oxigénre.

A primer forrás mellé szekunder forrásként a későbbiekben bekapcsolódhat egy biomassza tüzelésű erőmű. Az erőmű széndioxidot állítana elő a P2G egység számára, valamint hőt az egyes technológiákhoz. Természetesen emellett villamos energia közvetlen előállítására is alkalmas lenne, egyrészt egy hagyományos hőerőművi vizes/vízgőzös ciklussal, másrészt pedig a füstgázzal elszőkö hulladékhő ORC-rendszerű hasznosításával (erre később kitérünk). Ezáltal a P2G-KIK kibővíthető lenne egy hagyományos villamosenergia-tárolással foglalkozó résszel is, ahol különböző kémiai tárolási módszereket (különböző akkumulátorokat), illetve más kisebb-közepes, zömmel mechanikai típusú alternatív módszereket tesztelhetnének és fejleszthetnének. Ilyenek pl. sűrített vagy cseppfolyósított levegős tározó, szivattyús tározó, lendkerekes tározó, rugós tározó, súlytározó – mint a manapság egyre divatosabb betonos-darus vagy vasúti kocsis tározó [Tóth és mtsai, 2011; <https://energyvault.ch/>]. Ezzel a résszel – amit az 1. ábrán beszűrítve jeleltünk – most nem kívánunk mélyebben foglalkozni.

Az erőművi füstgáz szekunder CO₂ forrásként való felhasználásának legfőbb akadályát a CO₂-leválasztás költségei jelentik, hiszen az a füstgázban a levegő nitrogénjével együtt van jelen. Két irányban várható előrelépés. Egyrészt a szigorodó szabályozás miatt csökkenteni kell a CO₂ kibocsátást, tehát a füstgáztisztító technológiák azon csoportját, amely a CO₂ kivonásával foglalkozik, várhatóan a következő években gyors fejlődésen megy át, ami költségcsökkenéssel jár. Másrészt vannak olyan alternatív technológiák, amelyekben a füstgáz szinte tiszta CO₂, így nem, vagy csak kis mértékben lenne szükség a P2G egységben való felhasználás előtti leválasztásra. Ez a technológia az ún. oxyfuel technológia, ahol oxidáló szerként nem levegőt, hanem tiszta oxigént használunk, és a levegő nitrogénjét recirkuláltatott füstgázzal helyettesítjük [Yu és mtsai., 2018]. A fluidágyas megoldás mára közismert előnye ezen belül, hogy változó összetételű, problémás tüzelőanyagokra (így pl. hulladékokra, biomasszákra) kiválóan alkalmazható. Bár a fluidágyas oxyfuel technológia minden eleme ismert, mégsem mondhatjuk, hogy kereskedelmi termékről lenne szó, különösen akkor nem, ha nagyobb méretű egységekre van szükség, és tüzelőanyagként hulladékot szeretnénk felhasználni [Szentannai és Szucs, 2018; Al-Agha és Szentannai, 2019].

A P2G egység bemeneti oldala után tekintsük meg a kimenetet. Természetesen az elsődleges kimenő termék a metán, így először ezzel foglalkozunk. Optimális esetben a metán – megfelelő hűtés és nyomásszintre állítás után – betáplálható a gázhálózatba és onnantól kezdve úgy használható fel, mint bármely más eredetű metán. Előfordulhat viszont, hogy olyan helyre telepítenek egy ipari P2G egységet, ahol nincs kiépített földgáz-hálózat; ekkor a metánt valamilyen formában el kell szállítani, illetve ha a metánt pl. közlekedésben akarjuk felhasználni (üzemanyagként), akkor hasznos lehet már a keletkezésekor a megfelelő, a járművek által használható „kiszerezésben” tárolni. Ennek az egyik legkézenfekvőbb, de eléggé költséges módja a nagynyomású gázként, tartályokban való tárolás és elszállítás (CNG). Emellett három alternatív tárolási-szállítási javaslat jöhet szóba:

- cseppfolyósítás (LNG/LPG),
- szilárd hordozóban (pl. fém-mátrixban) való elnyelés
- hordozófolyadékban való elnyelés.

A cseppfolyósítás [Mokhatab és mtsai, 2016] a már létező LNG-meghajtású járművek miatt egy ígéretes megoldás, de a direkt hűtéssel való megoldása energiaigényes és így költséges. Kidolgozandó egy olyan, hűtési és expanziós lépésekből álló, valamint az eljárásban kapott hulladékhőt megfelelően felhasználó technológia, ami ennek a módszernek a költségeit csökkenti.

A szilárd hordozóban történő adszorpció elvű gáztárolás egyelőre még csak egy kutatási fázisban levő technológia, de akár pár éven belül is elérheti az alkalmazhatóságot. Ebben a technológiában a metán tárolására a nagy látszólagos felületű pórusos anyagok töltik be a tároló szerepét. Legbiztosabbak a fémorganikus térhálók, az úgynevezett MOF-ok (Metal Organic Framework) családjával elért eredmények. Ez a szivacszerű pórusos anyagcsalád ésszerű technológiai körülmények között, a nagynyomású gáztároláshoz szükségesnél alacsonyabb nyomáson és a cseppfolyósított megoldásnál magasabb, gyakorlatilag légköri hőmérsékleten nyeli el a metánt, majd nyomáscsökkentés és melegítés hatására a felhasználáskor leadja azt. A US Department of Energy (DoE) számításai szerint 35 bar nyomáson az 500 mg gáz/g hordozó (ill. 263 cm³ normál állapotú metán egyetlen cm³ hordozóban) tárolási határ elérésével lenne az eljárás már gyakorlatilag is hasznosítható. Azaz 1 g szilárd hordozóban 0,5 g metánt kellene tárolni [Peng és mtsai 2013]. Jelenleg egy európai kutatókból álló csoportnak sikerült leginkább megközelíteni a DoE által kitűzött térfogati kapacitást. Egy újfajta eljárással olyan HKUST-1 fantázianévű MOF-ot nyertek, mely egy cm³-ében 259 normál cm³ metánt köt meg, 65 bar nyomáson [Tian és mtsai, 2018]. A kapacitásnövelés mellett még fontos a fém és szerves molekulák önszerveződésével keletkező fémorganikus térháló mechanikai és kémiai stabilitásának növelése [Domán és mtsai, 2019]. Fontos megjegyezni, hogy az akkumulátoros technológiák egy részétől eltérően az itt felhasznált fémek nemcsak ritkaföldfémek, hanem pl. réz vagy cink is [Földes és mtsai, 2019], így a technológia árát és hozzáférhetőségét sem korlátozza majd az alapanyagok magas ára és nehézkes elérhetősége.

Végezetül megemlíthetjük, hogy a metán elnyelhető egy másik folyadékban is, így könnyebben szállíthatóvá válik. Kinyerése – a szilárd hordozós módszerhez hasonlóan – a hőmérséklet növelésével és/vagy a nyomás csökkentésével történhet. A hordozóanyag lehet maga is illékony és éghető (pl. a nem túl alacsony hőmérsékleten és/vagy nem túl magas nyomáson cseppfolyósított propán vagy bután), ekkor a hordozófolyadék egy része is elveszik, amikor a metánt kinyerjük és felhasználjuk. Amennyiben találunk alacsony árú, nem illékony és nem éghető folyadékot, ami a metánt nagy koncentrációban tudja oldani, ez a technológia versenyképes lehet a többivel.

Amennyiben megfelelő kémiai kutatások is lesznek a P2G-KIK-en belül, úgy nem lenne haszon nélküli egy olyan irányvonalat is elindítani, ami a metán vegyipari alapanyagokká történő továbbalakítását vizsgálja (melynek első lépése az úgynevezett metán reformálás). A metánból katalitikus eljárással szénmonoxid+hidrogén szintézisgáz nyerhető, amiből a vegyipar szinte bármit elő tud állítani (pl. a P2F technológia részeként bármely folyékony üzemanyagot); a határ sokszor csak a gazdaságosság. Természetesen nem gondoljuk, hogy a P2G technológiával frissen előállított metán-molekulákat rögtön fel is kellene darabolni, de előfordulhat, hogy más anyagra nagyobb szükség lesz, mint a metánra és ehhez szüksé-

ges ennek a technológiának az ismerete is [Mortensen és Dybkjær, 2015, Károlyi és mtsai, 2018]. A technológia P2G-KIK-en belüli vizsgálatát az is megkönnyíti, hogy pl. az itteni folyamatok egyes részénél felhasználható lesz a P2G technológia vízbontásos lépésénél melléktermékként keletkező oxigén.

A metán mellett a P2G technológia egyik kimenő terméke a hulladékhő. Amennyiben ezt nem tudjuk felhasználni, akkor kibocsátásával növeljük a környezet hőterhelését (egyes esetekben akár környezetkárosodást is okozva), valamint energiát veszítünk. Mivel hulladékhő több helyen is keletkezhet, így célszerű összegyűjteni és felhasználni. A kibocsátott hulladékhőt a mennyisége mellett a hőmérséklete is jellemzi. A legkönnyebb a magas hőmérsékletű hulladékhő felhasználása, ebből – mint a füstgáznál már említettük – könnyen lehet villamos energiát előállítani, de akár a P2G-KIK-en belül egyes kémiai eljárásokhoz is felhasználható. A villamosenergia-célú felhasználást az 1. ábrán a fő ORC egység jelzi. Az ORC (Organic Rankine Cycle – szerves Rankine ciklus [Macchi és Astolfi, 2018; Györke és mtsai, 2019a, 2019b]) egy olyan technológia, amiben a turbinát/generátort nem nagynyomású vízgőz, hanem egy szerves anyag gőze hajtja meg. 200 °C alatt, illetve kisebb bemenő hőmennyiségeknél ez a technológia nemcsak nagyobb hatásfokú, mint a vízgőzös technológiák (azaz több villamos energia keletkezik és kevesebb hulladékhővel terheljük a környezetet), hanem olyan alacsony hőmérsékleten is használhatók (a jelenlegi alsó határ 65 °C körül van), amelyek már a víz normál körülmények közötti felforralására sem használhatók. A P2G technológiában és a kapcsolódó technológiákban alacsony hőmérsékletű hulladékhő több helyen is keletkezhet, ilyen a már említett vízbontás, vagy a metán-elnyeletés. Az ORC technológián belül többfajta munkaközeg és berendezés közül lehet választani, attól függően, hogy mekkora a bemenő hőmennyiség, mekkora a hőmérséklete, illetve mennyire tudjuk lehűteni a ciklus alacsony hőmérsékletű részében a rendszert [Györke és mtsai, 2019b]. Így a fő-ORC mellett szükség lehet egy vagy több segéd-ORC-re, amelyek az alacsonyabb hőmérsékletű hulladékhőt hasznosítják, illetve az ún. „hideg energiát” [Angelino, 1978] alakítják át villamos energiává. Ez utóbbi esetben egy olyan termodinamikai ciklust kell használni, ahol a meleg oldal a környezeti hőmérséklet körül van, de cserében a hideg oldal valóban hideg, a metán- vagy más gáz cseppfolyósításakor fellépő hőmérsékletéhez közeli érték. Bár három berendezés soknak tűnik, de ezek kis berendezések, felállításuk gyors és az áruk is jelentősen kisebb egy hagyományos erőművi rendszer felépítésénél. Bár a világon az ORC-technológia elég elterjedt, jelenleg Magyarországon csak egy ORC berendezés működik, a Pest-megyei Turán, ahol 124 °C hőmérsékletű termálvízből állítanak elő villamos energiát [Tartière, 2018].

Amennyiben a hulladékhő hőmérséklete nem elég még az ORC-s felhasználáshoz sem, de a mennyisége túl nagy ahhoz, hogy elveszítsük, akkor lehetséges a hőmérséklet kismértékű emelése napkollektorok alkalmazásával [Zeynali és mtsai., 2019]. Mivel ez esetben nem túl nagy hőmérséklet-emelésre lenne szükség (hanem pl. a vízbontás utáni 60 °C-os hulladékhőt kellene a felhasználhatóság határa, 65 °C fölé vinni), ezek a napkollektorok egyszerű szerkezetűek is lehetnek, nem emelve jelentősen a költségeket. A napkollektor-kutatás jelenlegi iránya az egyre nagyobb hőmérséklet – egyre nagyobb hatékonyság irányába mozog, így – bár egyes jelenlegi modellek is használhatónak tűnnek – a megfelelően egyszerű és olcsó kollektorok kifejlesztéséhez is szükség lehet némi kutatásra-fejlesztésre.

Kissé visszakanyarodva, a teljes P2G technológia létjogosultságát az adja, hogy néha több villamos energiát termelünk, mint amit elhasználunk, így ilyenkor ennek egy részéből metánt állíthatunk elő. A technológia melléktermékeként hő keletkezik, amiből extra villamos energiát tudunk előállítani; de ezt pont olyankor tennénk, amikor amúgy is túl sok a megtermelt áram. Erre jelentene megoldást a hulladékhő eltárolása és későbbi felhasználása. Ehhez megfelelő hőtárolókra van szükség, ahol a tárolót az eltárolandó hőhöz tartozó hőmérsékletre kell optimalizálni. Egyes hőmérsékletekhez már léteznek ilyen tárolók [Sharma és mtsai, 2009], de ezek fejlesztése szintén egy fontos feladat lehet a P2G-KIK-en belül. Fontos megjegyezni, hogy amennyiben az eltárolt hőből később állítunk elő villamos energiát, ezzel kis mértékben a külső hálózati ingadozásainak kisimításához is hozzájárulunk, azaz bár jogilag a hőtárolás nem számít energiatárolásnak, de egy ilyen alkalmazásnál gyakorlatilag a villamosenergia-tárolókkal megegyező feladatra is felhasználható lenne.

A kutatások eredményei, illetve a mért adatok önmaguk is közzétes, illetve végterméknek számítanak. Ezért került feltüntetésre az ábra jobb felső sarkában egy adatközpont, amely nemcsak a szűken vett kutatóközpontot szolgálná ki, de az „Open Innovation” modell felhasználásával külső kutatók gyors és hatékony bevonását tenné lehetővé a felmerülő problémák megoldására [Zavarkó és mtsai, 2017].

Természetesen a metán alapú energiatárolást önmagában tanulmányozni nem lenne szerencsés, mivel így nehéz lenne összehasonlítani más módszerekkel. Így a P2G-KIK keretein belül jó lenne további egységeket telepíteni és ezek kutatásával-fejlesztésével is foglalkozni. Ezek az egységek – az 1. ábrán szürkére színeztettek – az alábbiak lennének:

- egy akkumulátoros tároló; a pilot-méretnek köszönhetően különböző típusokat is ki lehetne próbálni;
- amennyiben lesz benne perspektíva, más típusú tároló-megoldások is helyet kaphatnának a telephelyen (betonos-tornyos, szivattyús stb.);
- hogy a tárolóknak az ingadozások kiküszöbölésére gyakorolt hatását jobban lehessen vizsgálni, időjárás-függő megújuló (napelem, szélkerék) is telepíthető a központ köré;

Végezetül a következőkben szeretnénk összefoglalni azokat a kutatásokat, amelyek a P2G-KIK keretein belül folyhatnának.

1. táblázat. A P2G-KIK kutatási területeinek összefoglaló táblázata

Kutatási témák
P2G technológiához közvetlenül kötődő
Metanizáció optimalizálása, hatásfok növelése
P2G technológiák „alapanyagaihoz” vagy „termékeihez” kötődő
Katalitikus vízbontás (hidrogén és oxigén előállítás)
Füstgáz tisztítási, ill. oxy-fuel technológiák
Metán tárolás és szállítás (cseppfolyósítás, elnyeletés/adszorpció)
Metán átalakítása vegyipari alapanyagokká
Hulladékhő-felhasználás
Hulladékhő-tárolás
Informatikai jellegű (Open Innovation) kutatások
Egyéb témák
Villamos energia tárolás (akkumulátoros, mechanikus)
Megújuló alapú energia- és hőtermelés (napelem, napkollektor, szélerőmű)

A kutatási témákat a mellékelt táblázatba foglaltuk össze. A P2G technológiához (metanizációhoz) közvetlenül kapcsolódó kutatások Magyarországon jelenleg a Szegedi Egyetemen (ld. ezen lapszám vonatkozó cikkét) és a P2G Hungary Kft.-nél zajlanak. Katalitikus vízbontással kapcsolatos kutatások Magyarországon több helyen is folynak, többek között az MTA Energiatudományi Kutatóközpontjában, ahol emellett még a táblázatban felsoroltak között a metán későbbi hasznosításával (metán reformálás) is foglalkoznak. Oxy-fuel technológiával, ORC-technológiákkal, napkollektorokkal és a metán különböző tárolási módszereivel való kutatások a BME két karán (GPK és VBK) folynak, így egy „virtuális” P2G-KIK körvonalai már most is kirajzolódnak, mint ez látható is volt az 1. Magyar Power-to-Gas konferencián (https://www.energia.mta.hu/~pressure/1hp2g/p2g_main_1.htm).

A jelen cikkben egy olyan, valós vagy virtuális energiatárolási kutatási és innovációs központ (KIK) tervét mutattuk be, ami egy Power-to-Gas (P2G) alapú, biometán-előállító egységhez kapcsolódna. A tervezett P2G-KIK-ben felsorolt kutatások jelentős része túlmutat a metán előállításán, így az energetika, sőt az ipar más területein is felhasználható innovációs eredményekre számíthatunk.

Hivatkozások

- [1] Al-Agha, M.S., Szentannai, P. (2019) An Efficient Model for Predicting the Segregation Profile of Binary Fluidized Beds. *Period. Polytech. Chem. Eng.* 63, 147–159.
- [2] Angelino, G. (1978) Use of liquid natural-gas as heat sink for power cycles. *Journal of Engineering for Power*, 100, 69–177.
- [3] Domán, A., Czakk, O., Porcar, L., Madarász, J., Geissler, E., László, K. (2019) Role of water molecules in the decomposition of HKUST-1: evidence from adsorption, thermoanalytical, X-ray and neutron scattering measurements, *Applied Surface Science* 480, 138–147.
- [4] Csédő, Z. (2017) Power-to-Gas: egy ígéretes lehetőség a megújuló energiaforrások integrációjára, *Zöld Ipar Magazin*, 7, 28–29.
- [5] Földes, D., Kovács, É., Bortel, G., Jakab, E., Pekker, S. (2019) A Metal-organic Framework with Paddle-wheel $\text{Zn}_2(\text{CO}_2)_4$ Secondary Building Units and Cubane-1,4-dicarboxylic Acid Linkers. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 63(3), 365–369.
- [6] Geppert, F.; Liu, D.; van Eerten-Jansen, M.; Weidner, E.; Buisman, C., ter Heijne, A. (2016) Bioelectrochemical Power-to-Gas: State of the Art and Future Perspectives, *Trends in Biotechnology*, 34, 879–894.
- [7] Györke, G., Groniewsky, A., Imre, A. (2019a) Egykomponensű munkaközegek újszerű osztályozása ORC technológiához, *Energiagazdálkodás*, 60, 34–45.
- [8] Györke, G., Groniewsky, A., Imre, A.R. (2019b) A simple method to find new dry and isentropic working fluids for Organic Rankine Cycle, *Energies*, 12, 480.
- [9] Károlyi, J.; Németh, M.; Evangelisti, C.; Sáfrán, G.; Schay, Z.; Horváth, A.; Somodi, F. (2018) Carbon dioxide reforming of methane over Ni–In/SiO₂ catalyst without coke formation, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 58, 189–201.
- [10] Macchi, E., Astolfi, M. (szerk.) (2016) Organic Rankine Cycle (ORC) power systems: technologies and applications, Elsevier.
- [11] Mokhatab, S.; Mak, J.Y.; Valappil, J.V.; Wood, D.A. (2016) Handbook of Liquefied Natural Gas, Elsevier.
- [12] Mortensen, P.M.; Dybkjær, I. (2015) Industrial scale experience on steam reforming of CO₂-rich gas, *Applied Catalysis A: General* 495, 141–151.
- [13] Peng, Y., Krungleviciute, V., Eryazici, I., Hupp, J.T., Farha, O.K., Yildirim, T. (2013) Methane storage in metal-organic frameworks: current records, surprise findings, and challenges, *J. Am. Chem. Soc.* 135(32), 11887–94.
- [14] Rönsch, S.; Schneider, J.; Matthieschke, S.; Schlüter, M.; Götz, M.; Lefebvre, J.; Prabhakaran, P.; Bajohr, S. (2016) Review on methanation – From fundamentals to current projects, *Fuel*. 166, 276–296.
- [15] Schiller, R. (2013) Hidrogén, az elemek királya – A kémia születésétől az energetika jövőjéig, Typotex.
- [16] Sharma, A., Tyagi, V.V., Chen, C.R., Buddhi, D. (2009) Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 318–345.
- [17] Sinóros-Szabó, B.; Zavarkó, M.; Popp, F.; Grima, P.; Csédő, Z. (2018) Biomethane production monitoring and data analysis based on the practical operation experiences of an innovative power-to-gas benchscale prototype, *Journal of Agricultural Sciences*, 150, 399–410.
- [18] Szentannai, P., Szucs, B. (2018) Vertical arrangement of SRF particles in a stationary fluidized bed. *Powder Technol.* 325, 209–217.
- [19] Tartiére, T. (2018) ORC World Map by Thomas Tartiére (2018) <https://orc-world-map.org/>
- [20] Tian, T., Zeng, Z., Vulpe, D., Casco, M.E., Divitini, G., Midgley, P.A., Silvestre-Albero, J., Tan, J.C., Moghadam P.Z., Fairen-Jimenez, D. (2018) A sol–gel monolithic metal organic framework with enhanced methane uptake, *Nature Materials* 17, 174–179.
- [21] Tóth, P., Bulla, M., Nagy, G. (2011), *Energetika*, https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/index.html
- [22] Yu, R., Chen, S., Xiang, W. (2018) Thermodynamic Analysis and Optimization of an Oxyfuel Fluidized Bed Combustion Power Plant for CO₂ Capture. *Ind. Eng. Chem. Res.* 57, 15400–15410.
- [23] Zavarkó, M.; Bertalan, Zs.; Sára, Z.; Csédő, Z. (2017) Innovation and Knowledge Management in the Energy Sector, *Journal of Energy Technologies and Policy* 7, 45–53.
- [24] Zeynali, A., Akbari, A., Khalilian, M. (2019) Investigation of the performance of modified organic Rankine cycles (ORCs) and modified trilateral flash cycles (TFCs) assisted by a solar pond, *Solar Energy*, 182, 361–381.



A „Power-to-Gas” és kapcsolódó biogáz tisztítási biotechnológiai eljárások

Szuhaj Márk
PhD hallgató

Dr. Bagi Zoltán
egyetemi adjunktus

Prof. Dr. Kovács L. Kornél

professzor emeritus, Szegedi Tudományegyetem, Biotechnológiai Tanszék, kovacs.kornel@bio.u-szeged.hu

Számos megoldás létezik a túltermelésből származó és közvetlenül nem felhasználható „zöld áram” biotechnológiai úton történő hasznosítására vagy átalakítására. A cikkben több ilyen technológiát is bemutatunk; ezek közül bármelyik ajánlható a hullámzóan, kiszámíthatatlanul termelt többlet „zöld áram” ésszerű és gazdaságos tárolására. Különösen ígéretes a biogáz tisztítás (biometán termelés) összekapcsolása a Power-to-Gas technológiával.

*

Several approaches have been developed for the conversion and sustainable exploitation of the „surplus green electricity” generated by the irregular renewable energy production systems, e.g. photovoltaic and wind. Some of these technologies are discussed in this paper, which may be in agreement with the local needs and conditions. A particularly promising solution combines biogas purification, i.e. biomethane production, and the Power-to-Gas technology.

A szerves anyagok mikrobiológiai úton történő anaerob lebontásának termékeként keletkezik a biogáz. A biogáz alapvetően 50-70% metánból (CH_4) 30-50% szén-dioxidból (CO_2) és egyéb, néhány %-nál kisebb koncentrációban jelenlevő gázokból (N_2 , NH_3 , H_2S , vízgőz) épül fel. A biogáz CH_4/CO_2 arányát alapvetően a használt szerves szubsztrát minősége határozza meg. Gazdasági szempontból a CH_4 -on kívül az összes többi komponens, ami a biogázt alkotja szükségtelen, sok esetben káros szennyező szerepet tölt be. Az egyes gázkeverékek energia tartalmát az ún. Lower Calorific Value (LCV) érték határozza meg. A tiszta CH_4 esetében ez az érték 36 MJ/m^3 és minél magasabb az egyéb szennyezők aránya a keletkezett biogázban, annál alacsonyabb az LCV értéke. 50-60%-os CH_4 tartalommal bíró biogáz LCV értéke $20\text{--}25 \text{ MJ/m}^3$ körül mérhető. Amellett, hogy ezek az egyéb gázkomponensek csökkentik a keletkezett biogáz energiaértékét mérgező és korrozív hatásuk is lehet, ezért fontos a biogáz kezelése, tisztítása felhasználást megelőzően.

A biogáz tisztításának első lépése, a toxikus és korrozív anyagok (H_2S , Si, CO, NH_3 , sziloxánok és illékony szerves komponensek) eltávolítása a keletkezett biogázból. Ezután következik a biogáz minőség javítási lépés, amely során a biogáz LCV-értékét növelhetjük azáltal, hogy a CO_2 -t CH_4 -ná alakítjuk valamilyen eljárással. A tisztítási és minőségjavítási lépést követően, ha a keletkezett gáz CH_4 tartalma eléri a 95-98%-ot, akkor tiszta biometánnról (bioCH_4) beszélünk.

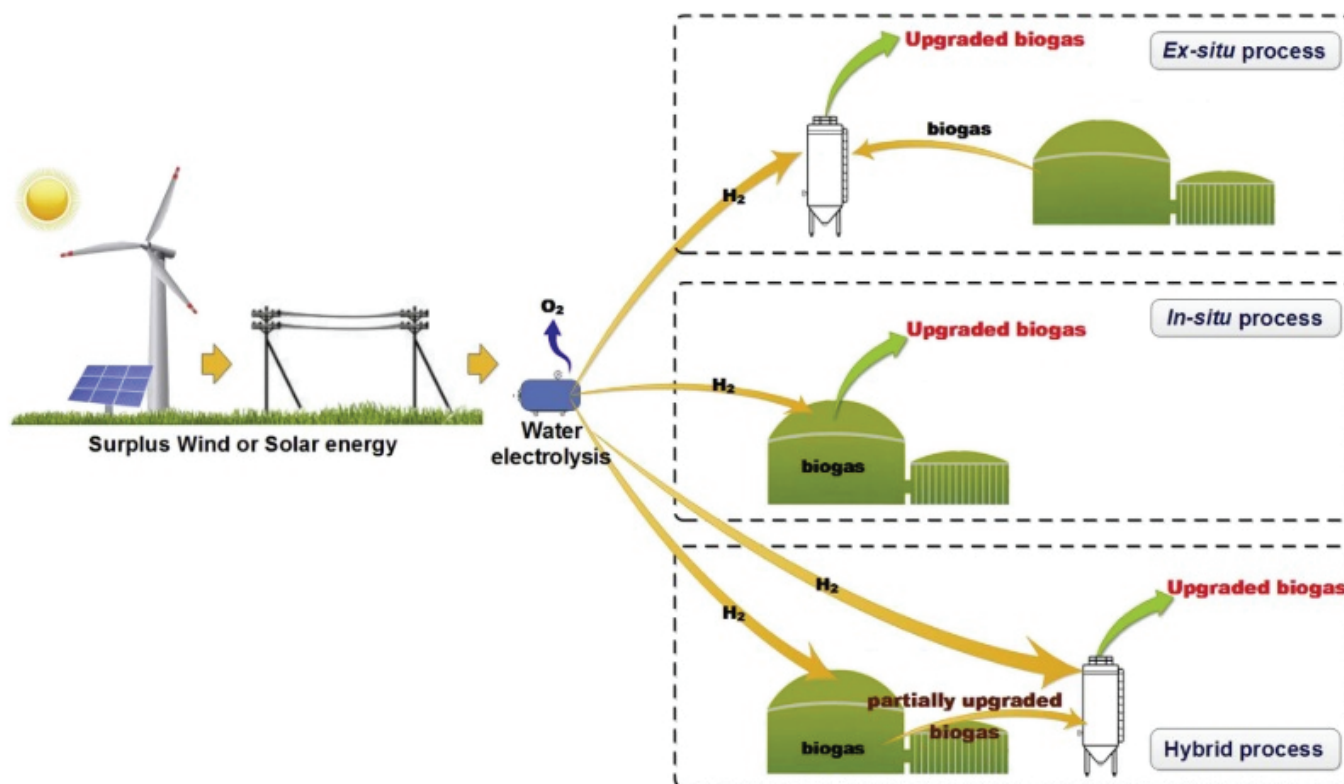
Napjainkban egyre inkább kutatott és reményt keltő lehetősége a biogáz minőségének javítását elősegítő és ezzel együtt történő tisztítási eljárása a Power-to-Gas (PtG) technológia. A fosszilis energiahordozók kimerülése és a környezettudatos életvitel,

energianyereség eredményeként egyre jobban előtérbe kerülnek a megújuló energiahordozók (szél-, víz-, fotovoltikus energia, biomassza) által biztosított energiatermelő technológiák felhasználása. A biomasszából biogázt előállító technológia kivételével az összes megújuló elektromos áramot ad. Azonban az áramtermelést jelentősen befolyásolja az energiahordozók napi vagy szezonális energiaátadási ingadozása. Az intenzív időszakokban a megújuló energiahordozókból előállított elektromos áram mennyisége fejlettebb régiókban meghaladhatja a felhasznált mennyiséget, ami az elektromos hálózatok túlterheltségét okozza és az energiátöbblet tárolása hiányában energiavesztéshez vezethet. A hullámzó túltermelés csillapítására, az elektromos energia tárolására kedvező megoldás a plusz áram alternatív energiahordozókká, vegyületekké történő alakítása. Ilyen technológiai lehetőség a „felesleges” áram felhasználása hidrogén (H_2) előállítására a víz elektrolízisével. Ez egy jól jellemzett és világszerte alkalmazott eljárás, habár az előállítást követően az energetikailag, financiálisan és technológiai szempontból kedvező H_2 tárolási és szállítási megoldások még váratnak magukra. Ezért egy lehetséges és igen kecsegtető megoldás lehet az elektrolízis során előállított H_2 átalakítása CH_4 -ná. A CH_4 nagy előnye a H_2 -nel szemben, hogy tárolási és szállítási költsége a töredéke a H_2 -nek és a kiépített földgáz hálózatok infrastruktúrái is megfelelnek erre a funkcióra. A földgáz hálózat sokkal rugalmasabban tudja kezelni a hullámzó betáplálást, a metán kisebb veszteséggel szállítható, tárolható, mint az áram. A folyamat katalízisére napjainkban számos jól leírt módszer alkalmas, de az egyik legköltséghatékonyabb megoldást a biogáz fermentorok mikrobaközösségének, azon belül is a hidrogenotróf metanogének anyagcseréjének felhasználása a CH_4 előállítására jelenti.

A biológiai úton történő biogáz minőség javítás során mikrobákat alkalmazva tudunk megszabadulni a fő szennyezőként jelenlevő CO_2 -tól. A mikrobák anyagcseréjük révén képesek átalakítani a biogázban jelenlevő CO_2 -ot CH_4 -ná H_2 segítségével, ez a Power-to-Gas (PtG) koncepció alapja. A biogáz tisztítása egyre jobban kutatott terület és napjainkban már növekvő számú kísérleti biogáz tisztító, minőségjavító biológiai eljárás létezik, sőt Dánia, Németország, Svédország, Svájc és Nagy-Britannia területén már félüzemi és ipari egységek is működnek.

Biológiai technológiák

A biológiai biogáz tisztítási eljárásokban dolgozó mikrobákat általánosan két útvonal mentén csoportosíthatjuk: megkülönböztetünk kemoautotróf (energiáját kémiai úton, szervetlen forrásból nyeri) és fotoszintetikus (energiáját fényből nyeri) élőlényeket, amelyek a feladat szempontjából számításba jöhetnek. A továbbiakban bemutatásra kerülő eljárások a CO_2 -t biológiai úton alakítják át magasabb energia tartalmú terméké (Angelidaki *et al.*, 2018).



1. ábra. Lehetséges biometán termelési elrendezések (Angelidaki et al., 2018)

Kemoautotróf módszerek

A PtG folyamatot a biogáz termelő mikrobaközösség fontos csoportja a hidrogenotróf metanogén Archea törzsek katalizálják, amelyek anyagcsere folyamataik révén képesek a rendelkezésükre álló CO_2 -t H_2 jelenlétében CH_4 -ná redukálni a következő egyenlet alapján (Blaut, 1994; Angelidaki et al., 2018):



A reakciót három fermentációs elrendezés segítségével tudjuk elvégezni (1. ábra).

In-situ biológiai metántermelés

Az in-situ CO_2 redukció során a folyamatosan biogáz termelő, szerves anyag lebontást végző reaktorba adagoljuk a redukáló szerként szolgáló H_2 -t. A stratégia előnye a többi technológiával szemben, hogy nem igényel külön reakció edényt, hiszen ugyanabban a reaktorban megy végbe, mint az anaerob degradáció (Aryal et al., 2018). Ilyenkor tehát nem csak a hidrogenotróf metanogének, hanem a biomassza teljes lebontási útvonalát végző komplex mikroba közösség is aktív (Kougias et al., 2017). A H_2 megfelelő ütemű adagolásával megközelítőleg 99%-os CO_2 konverzió érhető el, de a fermentációs paramétereket és H_2 adagolást nagyon pontosan kell végezni. A szerves anyag lebontását (CO_2 képződését) és CH_4 termelő mikroba csoportok ugyanis igen érzékeny szintrófikus kapcsolatban élnek egymással, amit éppen a rendszerben levő H_2 koncentrációja szabályoz. A H_2 túladagolásának, a magas parciális H_2 nyomásnak az egyik következménye a lebontási folyamatban fontos szerepet játszó acetogén mikrobák működésének gátlá-

sa, a fermentációs közeg savasodása és a mikrobák pusztulása (Fukuzaki et al., 1990; Batstone et al., 2002; Agneessens et al., 2017). Ugyanakkor természetesen minél több H_2 van a rendszerben, a hidrogenotrófok annál több CO_2 -t tudnak elredukálni. További bonyodalmakat okoz, hogy az aktív hidrogenotróf metanogenezis „elfogyasztja” az oldott CO_2 nagy részét, ettől a rendszer puffer kapacitása csökken, emelkedik a pH, és $pH \geq 8.5$ a metanogén mikrobák pusztulását okozhatja (Luo and Angelidaki, 2012; Bassani et al., 2015). Végül azt is figyelembe kell venni, hogy CO_2 hiányában a homoacetogenezist végző mikrobák acetát termelő képessége is csökken. A homoacetogén mikroorganizmusok a Wood-Ljungdahl anyagcsere útvonal alapján (2. egyenlet) képesek a CO_2 redukálására, H_2 segítségével acetát képzésre. Az így keletkező acetát szolgálhat szerves szubsztrátként a metanogének másik csoportja, az acetotróf metanogének számára (Ljungdahl and Wood, 1969; Ragsdale and Pierce, 2009).



Mindent egybevetve, a mikrobiológiai rendszer stabilitását könnyen felboríthatja a H_2 adagolás, technikailag nehezen oldható meg a paraméterek pontos ellenőrzése és szabályozása a gyakran 2-3000 m^3 biogáz üzemi reaktorokban, ezért ez a megközelítés nem ajánlott.

Ex-situ biológiai metántermelés

Az ex-situ technológiák lényege, hogy a PtG reakció egy külön reaktorban zajlik. A H_2 megújuló „zöld” áram felhasználásával a víz elektrolízise során állítható elő és adagolható a rendszerbe.

A CO₂ származhat füstgázból, depónia gázból, biogázból és szintézis gázból. A két gáz elegyét egy független reaktorban feldúsított hidrogenotróf metanogén kultúra képes átalakítani a CO₂-ot elektron akceptorként és szénforrásként, a H₂-t redukálószerként felhasználva (Luo and Angelidaki, 2012; Aryal et al., 2018).

Az eljárás nyilvánvaló hátránya a beruházási költség, ami egy újabb reaktor edény és azt kiszolgáló berendezések beépítésével jár. Ezt több, technológiai előny ellensúlyozza. A legfontosabb ezek közül, hogy nem kell számolnunk a H₂ bevitel mikrobiológiai hatásaival, hiszen ebben az esetben csak a hidrogenotróf metanogének tevékenységét használjuk ki. Az exogén CO₂ származhat bármilyen forrásból tehát csökkenti a káros üvegházhatású gáz kibocsátását a környezetbe és könnyen tárolható energiahordozóvá alakítható át CH₄ formájában (Angelidaki et al., 2018).

A legnagyobb kihívást az ex-situ technológiák esetében is a H₂ rossz oldódása jelenti a légtérből a vizes fázisba. Az oldott H₂ koncentráció növelését intenzív keveréssel, a gáz-folyadék felület növelésével és/vagy a H₂ nyomás fokozásával lehet elérni. CSTR (continuous stirred tank reactor = folyamatosan kevert reaktorok) berendezésekkel végzett kísérletek során 60:25:15 arányú H₂:CH₄:CO₂ elegyből kiindulva érték el 95,4%-os CH₄ tartalmat azáltal, hogy a kevertetés sebességét 500-800 rpm-re (fordulat/perc) növelték, ami persze megemelkedett energia befektetés igényel járt (Luo et al., 2012).

Az ex situ eljárások egyik ígéretes formája a kísérleti üzemi szintre fejlesztett Electrochaea megoldás (<http://www.electrochaea.com/>). Az eljárásban a *Methanothermobacter thermoautotrophicus* hidrogenotróf metanogén tiszta kultúrát használják CSTR reaktorban, amely termofil körülmények között (60-65 °C) képes megvalósítani a PtG reakciót (Martin et al., 2013). A termofil hőmérséklet nem előnyös a H₂ beoldódás szempontjából, de könnyebben lehet a tenyészet mikrobiológiai tisztaságát fenntartani. A metanogének ugyanis általában lassan szaporodnak, ezért a steril tenyészetek könnyen befertőződnek. Ilyenkor a katalizátor mikrobát cserélni kell, ez ipari léptékben jelentős költségnövelő tényező. 70-98% CH₄ koncentrációt sikerült elérni ezzel a módszerrel szintetikus H₂ + CO₂ gáz keverékkel. A tiszta kultúrák alkalmazásával járó, steril fermentáció költségeit a térfogat egységre vetített magas metanogén sejtszám ellensúlyozhatja. De saját laboratóriumi eredményeink szerint (Szuhaj et al., 2016) az ipari biogáz reaktorokból távozó fermentációs maradék kevert mikroba közösségében levő hidrogenotróf metanogének is kiváló biológiai aktivitással tudják megvalósítani a PtG reakciót, amit a mikroba közösség többi tagja nem zavar, sőt stabilizálja a metanogének működését. A koncepció értelmében a PtG reaktort a biogáz üzem mellé javasolt telepíteni, ahonnan folyamatosan, megújulóan és ingyen katalizátort lehet biztosítani a PtG számára.

Hatékony konverziót értek el (96,3% CH₄) az ún. UASB (up-flow anaerobic sludge blanket) reaktorokban speciális kerámia membrán diffúzereket használva, amik elősegítették a H₂ beoldódását a folyadék fázisba (Bassani et al., 2017). Az egyszerű és gazdaságosan kivitelezhető batch technológiát alkalmazva hasonló, 95,5%-os CH₄ koncentráció könnyen megvalósítható a hidrogenotróf metanogenezis egyenlete alapján megfelelő H₂/CO₂ adagolással. A H₂ beoldódását kevertetés, magasabb nyomás és a batch rendszerben kialakuló koncentráció gradiens segítette elő (Szuhaj et al., 2016). A legmagasabb CH₄ koncentrációt ex-situ körülmények között TBR (trickle-bed reactor) reaktor elrendezés segítségével érték el. A TBR reaktorokban immobilizált metanogén Archaea biofilmet

alkalmaznak, amelyek 99%-os H₂ átalakításra képesek (Burkhardt and Busch, 2013; Strübing et al., 2017).

Fotoautotróf módszerek

A fotoszintetikus biogáz tisztítás során a biogázból kivonjuk a CO₂-t, így CH₄-ben gazdag gázelegyet kapunk. A módszer előnye, hogy a fotoszintetizáló szervezetek (algák, cianobaktériumok) a H₂S-t is megkötik tovább tisztítva a biometánt. Alapvetően két típusa létezik a fotobioreaktor rendszereknek: a zárt (cső vagy téglatest formában) és nyitott (high rate algal ponds). A zárt rendszerek hatékonysága, kis hely igénye és vízszükséglete kedvezőbb a nyitott rendszerekkel szemben, de a felállításához és működtetéséhez szükséges befektetések mértéke és energiaszükséglete nagyban megráigítja a technológiát. Ezzel szemben a nyitott rendszerek igen alacsony beruházási és fenntartási költséget igényelnek, azonban kevésbé hatékony CO₂ felvétellel rendelkeznek. Mindkét rendszer képes a biogázban a CO₂ koncentrációját az előírt 2-6%-ra csökkenteni (Meier et al., 2015; Angelidaki et al., 2018). További előnye a fotoautotrófokkal végzett biogáz tisztításnak, hogy a folyamatban képződő biomassa értékes összetevőket tartalmaz (pl.: fehérjék, antioxidánsok, poliszacharidok), amik hasznosíthatók, vagy maga az organizmus szolgálhat szubsztrátként a biogáz reaktorban (Mussnug et al., 2010; Guedes et al., 2011; Wirth et al., 2015a; Wirth et al., 2015b).

Biogáz tisztítás fermentációs rendszerek segítségével

A PtG folyamat elsődleges terméke a CH₄, de a stratégia felépítése során érdemes figyelembe venni, hogy a H₂-vel történő CO₂ redukció mellett értékes egyéb vegyületeket is elő tudunk állítani biotechnológiai úton, pl. ecetsav, vajsav, etanol, butanol keletkezhet számottevő mennyiségben (Aglar et al., 2011). Különböző mikroorganizmusok (pl. *Acetobacterium woodii*, *Butyribacterium methylotrophicum*, *Clostridium scatologenes* stb.) közismerten képesek a CO₂-t a H₂ segítségével szerves savakká és/vagy alkoholokká alakítani, amik értékes termékek, illetve vegyipari, gyógyszeripari alapanyagokként hasznosíthatók (Nie et al., 2007, 2008; Devarapalli et al., 2016). A legnagyobb kihívást az ilyen rendszerekben a H₂ olcsó beszerzése, így a fermentációs eljárás gazdaságossága jelenti. A PtG mellett alternatív megoldás lehet erre a cukrok anaerob fermentációjával való összekapcsolása. A rengeteg megoldási lehetőség közül példaként itt csak a borostyánkősav előállítását említjük glükózból *Actinobacillus succinogenes* segítségével (Zeikus et al., 1999). Ez a vegyület szolgál prekurzorként mezőgazdasági, élelmiszeripari és gyógyszeripari vegyületek szintézisében (Gunnarsson et al., 2014).

Összefoglalva azt állapíthatjuk meg, hogy már ma is számos megoldás létezik a túltermelésből származó és közvetlenül nem felhasználható „zöld áram” biotechnológiai úton történő hasznosítására vagy átalakítására. Ezek közül a helyi adottságokhoz, igényekhez legjobban illeszkedő eljárást érdemes bevezetni. Bármelyik itt bemutatott technológia ajánlható a hullámzóan, kiszámíthatatlanul termelt többlet „zöld áram” ésszerű és gazdaságos tárolására, biometán előállításra. Érdemes kiaknázni ezeket!

Irodalomjegyzék

- [1] Aglar, M. T. et al. (2011) 'Waste to bioproduct conversion with undefined mixed cultures: The carboxylate platform', *Trends in Biotechnology*. Elsevier Ltd, 29(2), pp. 70–78. doi: 10.1016/j.tibtech.2010.11.006.

- [2] Agneessens, L. M. *et al.* (2017) 'In-situ biogas upgrading with pulse H₂ additions: The relevance of methanogen adaptation and inorganic carbon level', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 233, pp. 256–263. doi: 10.1016/j.biortech.2017.02.016.
- [3] Angelidaki, I. *et al.* (2018) 'Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives', *Biotechnology Advances*. Elsevier, 36(2), pp. 452–466. doi: 10.1016/j.biotechadv.2018.01.011.
- [4] Aryal, N. *et al.* (2018) 'An overview of microbial biogas enrichment', *Bioresource Technology*. Elsevier, 264(June), pp. 359–369. doi: 10.1016/j.biortech.2018.06.013.
- [5] Bassani, I. *et al.* (2015) 'Biogas Upgrading via Hydrogenotrophic Methanogenesis in Two-Stage Continuous Stirred Tank Reactors at Mesophilic and Thermophilic Conditions', *Environmental Science and Technology*, 49(20), pp. 12585–12593. doi: 10.1021/acs.est.5b03451.
- [6] Bassani, I. *et al.* (2017) 'Optimization of hydrogen dispersion in thermophilic up-flow reactors for ex situ biogas upgrading', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 234, pp. 310–319. doi: 10.1016/j.biortech.2017.03.055.
- [7] Batstone, D. J. *et al.* (2002) 'The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1).', *Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 45(10), pp. 65–73.
- [8] Blaut, M. (1994) 'Metabolism of methanogens', *Antonie van Leeuwenhoek*, 66(1–3), pp. 187–208. doi: 10.1007/BF00871639.
- [9] Burkhardt, M. and Busch, G. (2013) 'Methanation of hydrogen and carbon dioxide', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 111, pp. 74–79. doi: 10.1016/j.apenergy.2013.04.080.
- [10] Devarapalli, M. *et al.* (2016) 'Ethanol production during semi-continuous syngas fermentation in a trickle bed reactor using *Clostridium ragsdalei*', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 209, pp. 56–65. doi: 10.1016/j.biortech.2016.02.086.
- [11] Fukuzaki, S. *et al.* (1990) 'Inhibition of the fermentation of propionate to methane by hydrogen, acetate, and propionate', *Applied and Environmental Microbiology*, 56(3), pp. 719–723.
- [12] Guedes, A. C. *et al.* (2011) 'Microalgae as sources of high added-value compounds—a brief review of recent work', *Biotechnology Progress*, 27(3), pp. 597–613. doi: 10.1002/btpr.575.
- [13] Gunnarsson, I. B. *et al.*, (2014) 'Utilization of CO₂ fixing bacterium *Actinobacillus succinogenes* 130Z for simultaneous biogas upgrading and biosuccinic acid production', *Environmental Science and Technology*, 48(20), pp. 12464–12468. doi: 10.1021/es504000h.
- [14] Kougias, P. G. *et al.* (2017) 'Bioresource Technology Ex-situ biogas upgrading and enhancement in different reactor systems', *Bioresource Technology*. Elsevier Ltd, 225, pp. 429–437. doi: 10.1016/j.biortech.2016.11.124.
- [15] Ljungdahl, L. G. and Wood, H. (1969) 'Synthesis of acetate from CO₂ by heterotrophic bacteria', *Annual Review of Microbiology*, 23(3), pp. 515–538.
- [16] Luo, G. *et al.* (2012) 'Simultaneous hydrogen utilization and in situ biogas upgrading in an anaerobic reactor', *Biotechnology and Bioengineering*, 109(4), pp. 1088–1094. doi: 10.1002/bit.24360.
- [17] Luo, G. and Angelidaki, I. (2012) 'Integrated biogas upgrading and hydrogen utilization in an anaerobic reactor containing enriched hydrogenotrophic methanogenic culture', *Biotechnology and Bioengineering*, 109(11), pp. 2729–2736. doi: 10.1002/bit.24557.
- [18] Martin, M. R. *et al.* (2013) 'A single-culture bioprocess of *Methanothermobacter thermautotrophicus* to upgrade digester biogas by CO₂-to-CH₄ conversion with H₂', *Archaea*, 2013. doi: 10.1155/2013/157529.
- [19] Mussgnug, J. H. *et al.* (2010) 'Microalgae as substrates for fermentative biogas production in a combined biorefinery concept', *Journal of Biotechnology*. Elsevier B.V., 150(1), pp. 51–56. doi: 10.1016/j.jbiotec.2010.07.030.
- [20] Nie, Y. Q. *et al.* (2007) 'Enhancement of acetate production by a novel coupled syntrophic acetogenesis with homoacetogenesis process', *Process Biochemistry*, 42(4), pp. 599–605. doi: 10.1016/j.procbio.2006.11.007.
- [21] Nie, Y. Q. *et al.* (2008) 'Acetate yield increased by gas circulation and fed-batch fermentation in a novel syntrophic acetogenesis and homoacetogenesis coupling system', *Bioresource Technology*, 99(8), pp. 2989–2995. doi: 10.1016/j.biortech.2007.06.018.
- [22] Ragsdale, S. W. and Pierce, E. (2009) 'NIH Public Access', 1784(12), pp. 1873–1898. doi: 10.1016/j.bbapap.2008.08.012. Acetogenesis.
- [23] Meier, L. *et al.* (2015) 'Photosynthetic CO₂ uptake by microalgae: An attractive tool for biogas upgrading', *Biomass and Bioenergy*. 73, pp. 102–109. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.10.032.
- [24] Strübing, D. *et al.* (2017) 'High performance biological methanation in a thermophilic anaerobic trickle bed reactor', *Bioresource Technology*. Elsevier, 245(August), pp. 1176–1183. doi: 10.1016/j.biortech.2017.08.088.
- [25] Suhaj, M. *et al.* (2016) 'Conversion of H₂ and CO₂ to CH₄ and acetate in fed-batch biogas reactors by mixed biogas community: A novel route for the power-to-gas concept', *Biotechnology for Biofuels*. 9:102, doi: 10.1186/s13068-016-0515-0.
- [26] Wirth, R. *et al.* (2015a) 'Exploitation of algal-bacterial associations in a two-stage biohydrogen and biogas generation process', *Biotechnology for Biofuels*, 8:59, doi: 10.1186/s13068-015-0243-x.
- [27] Wirth, R. *et al.* (2015b) 'Metagenome changes in the mesophilic biogas-producing community during fermentation of the green alga *Scenedesmus obliquus*', *Journal of Biotechnology*. Elsevier B.V., 215, pp. 52–61. doi: 10.1016/j.jbiotec.2015.06.396.
- [28] Zeikus, J. G. *et al.* (1999) 'Biotechnology of succinic acid production and markets for derived industrial products', *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51(5), pp. 545–552. doi: 10.1007/s002530051431.



A power-to-gas technológiafejlesztés üzleti modellje Magyarországon

Dr. Csedő Zoltán

*tanszékvezető egyetemi docens, Budapesti Corvinus Egyetem, Vezetés és Szervezés Tanszék
ügyvezető igazgató, Power-to-Gas Hungary Kft.*

A lokális és regionális energiapiacok – az EU-s és a kormányzati fenntarthatósági célkitűzésekkel összhangban – átalakuláson mennek keresztül, melynek kulcsa a megújuló energiaforrások minél nagyobb mértékű hasznosítása. A megújuló hasznosításának növelése azonban jelentős kihívásokba ütközik. E kihívásokra piac képes megoldást nyújthat a Power-to-Gas Hungary Kft. által, a Chicagói Egyetem kutatásai alapján, az Electrochaea GmbH-val együtt fejlesztett power-to-gas technológia, mely képes a felesleges villamos energiát biometánná alakítani, és azt a szabványos földgázhálózatokba injektálni. Ez rugalmas, a keresletet és kínálatot kiegyenlítő megoldást jelent a villamosenergia-hálózat stabilitásának fenntartására. Mivel a földgázhálózatok jelentős szabad kapacitásokkal rendelkeznek, a technológia lehetővé teszi a nagy volumenű, ipari méretű energiátárolást is. Mindemellett a technológia illeszkedik a fenntarthatósági és dekarbonizációs törekvésekhez, mivel a power-to-gas folyamat egyik inputtényezője a szén-dioxid. Bár a technológiafejlesztő Power-to-Gas Hungary Kft. a világszinten is kiemelkedő technológiai innováció birtokosa, a technológia kereskedelmi méretekben való hatékony implementálásához számos érintett együttműködésére van szükség. A power-to-gas technológiafejlesztés üzleti modelljében számos ipari szereplő, a kormányzat, a pénzügyi és szakmai befektetők, az akadémiai intézmények és a startup ökoszisztéma képviselőinek kulcspartnerekként való együttműködésével biztosítható az innováció hasznosításához szükséges komplementer erőforrások rendelkezésre állása és a támogató piaci környezet. E széleskörű együttműködéssel az innovatív power-to-gas technológia tovább fejleszthető, felskálázható, melyből minden együttműködő fél profitálhat és a power-to-gas technológiában rejlő potenciál kiaknázható a szakirodalmi és az iparági várakozásoknak megfelelően.

*

In line with EU and government sustainability policies increased use of renewable energy sources is key to transformation of local and regional energy markets. A significant increase of renewables energy sources, however, is hampered by several challenges. Power-to-Gas Hungary Kft. could offer solutions for these challenges by its innovative technology, developed in cooperation with Electrochaea GmbH, based on research of University of Chicago. The technology can convert surplus electricity to biomethane, which can be injected into the natural gas grid. Balancing the supply and the demand side, this could also be considered as a flexible solution to sustain the stability of the power grid. As natural gas grids have free storage capacities, the technology allows grid-scale energy storage, as well. Furthermore, the technology supports sustainability and decarbonization efforts, because carbon dioxide is one of the input factors of the power-to-gas process. Although technology developer Power-to-Gas Hungary Kft. is able to provide this internationally outstanding innovation, a close cooperation of several stakeholders are also needed to implement the technology efficiently in commercial-scale. Within the business model of power-to-gas technology develop-

ment, a strong partnership of numerous industry players, government and regulatory institutions, financial and strategic investors, academic institutions and the participants of the startup ecosystem are essential to grant complementary resources and supporting environment, in order to exploitation the full innovation potential. Such cooperation could result grid-scale power-to-gas technological innovation. Moreover, this realized potential of the technology could also lead to significant gains for all cooperation partners, as it has been expected by scientific literature and industry experts.

Az átalakuló globális energiaszektor egyik fő jellemzője a fenntartható technológiák minél szélesebb körben történő alkalmazása [1, 2]. Az új technológiák közül kiemelkedő jelentőségű lehet a power-to-gas technológia [3], mely révén a felesleges villamos energia a földgázrendszerben hatékonyan tárolható és szállítható gázzá alakítható, az így tárolt energia később felhasználható [4]. A Power-to-Gas Hungary Kft. olyan power-to-gas technológia fejlesztésével és implementálásával foglalkozik, mely egy speciális, szelektív archea mikroorganizmus révén biológiai metanizációt valósít meg. Ez a megoldás egyszerre támogatja (A) a megújuló technológiák nagyobb volumenű integrálását az energiarendszerbe a megújuló villamos energia többletkapacitás biometánná alakításával (a földgáz környezetbarát alternatívája), ezzel (B) támogatja a villamosenergia-hálózat stabilitását és csökkenti a hálózat-üzemeltetők kihívásokat, illetve (C) hozzájárul a dekarbonizációs törekvésekhez, mivel a folyamat egyik inputtényezője a szén-dioxid [5]. Kutatásaim során, a szakirodalmi adatok és empirikus tapasztalatok alapján arra a kérdésre kerestem a választ, hogy milyen üzleti modellel lehet a leghatékonyabban hasznosítani a vállalat technológiai innovációját [6], a hazai és nemzetközi energia-politikai célokkal összhangban.

Szakirodalmi háttér

Egy vállalkozás üzleti modellje azt írja le, hogy a vállalkozás miként hozza létre, nyújtja, illetve ragadja meg az értéket [7]. Az üzleti modell középpontja az értékajánlat, melyet (A) fogyasztói oldalról a kiszolgált szegmensek, a hozzájuk kapcsolódó csatornák és fogyasztói kapcsolatok, (B) termelési oldalról a kulcspartnerek, kulcserőforrások és kulcstevékenységek, (C) pénzügyi oldalról a bevételek és a költség tényezők kereteznek [7]. A Power-to-Gas Hungary Kft. üzleti modellje a technológiai innovációra épül, de a technológiai innovációból származó magas profitkilitások nem egyértelműek, mivel az innovációt imitálók esetenként képesek lehetnek jobb teljesítményt felmutatni, mint maga az innovátor vállalkozás, amennyiben az innováció hasznosításához kapcsolódó kritikus kiegészítő erőforrásokat az innovátor saját hatáskörben vagy együttműködések által nem tudja bevonni [6]. A technológiai innováció középpontját képező know-how mellett versenyképes termelésre, elosztásra, kiegészítő szolgáltatásokra és komplementer technológiákra is szükség lehet az innováció hatékony kiaknázásához, azonban ezeket nem szükségszerűen kell

az innovátor vállalkozásnak integrálnia [6]. Az „open innovation” és a szervezetközi hálózatok egyre növekvő jelentőségéből az is következik, hogy a komplementer erőforrások, képességek hasznosítása stratégiai együttműködésekén keresztül is lehetséges [8, 9]. Amennyiben egy vállalkozás képes az innovációs erőfeszítésekhez szükséges megfelelő know-what (specifikus technológiai tudás), know-how (folyamatok vezetésének képessége) és know-who (információt és erőforrást biztosító kapcsolatrendszer) kompetenciákkal rendelkezni, képes lehet az innováció kiaknázására és a növekedésre [10].

A kiemelkedő technológiai tudás megléte, vezetési-szervezési és az erőforrások becsatornázásának képessége a power-to-gas iparágban is kritikus, mivel a power-to-gas fejlesztési projektek jellemzően több kisebb és nagyobb vállalat, egyetem és kutatóközpontok, illetve állami szereplők együttműködéseként valósulnak meg. Baleira és társai [11] áttekintésében szereplő több mint 40 projekt átlagban legalább 3-4 szereplő közös munkájával valósult meg. A power-to-gas technológiában a legmagasabb teljesítményt produkálni képes biológiai metanizációs technológia esetében [3] ennél több szereplő is együttműködött. Ilyen például az Power-to-Gas Hungary Kft. stratégiai partnere, az Electrochaea GmbH dániai, Avedøre-ban megvalósított 1 MW-os BioCat nevű projektje, ahol hét szereplő működött közre. Az együttműködő partnerek között volt például az Audi, a Biofos A/S szennyvíztisztítótelep és dán Klíma- és Energiaügyi Minisztérium által tulajdonolt átviteli rendszerirányító, az Energinet is. Szintén megemlíthető a biológiai metanizáció esetében a németországi BioPower2Gas projekt, melyben Viessmann Csoport által tulajdonolt MicroEnergy mellett másik 7 szervezet működött közre [11].

Stratégiai irányok

A Power-to-Gas Hungary Kft. egy innovatív startup, elsődleges stratégiai célja a növekedés. Az innovatív technológiával rendelkező Power-to-Gas Hungary Kft. stratégiájában – Penrose [12] alapján – egyszerre céloz minőségi és mennyiségi növekedést [10]. Minőségi a növekedés abban az értelemben, hogy az innovatív power-to-gas (P2G) technológia implementálása új tevékenység integrálását jelenti: ipari méretű energiatároló üzemeltetése. Ezzel párhuzamosan a mennyiségi növekedésnek is meg kell történnie: az új tevékenység el látása az alkalmazotti létszám növekedését, az energiatároló üzemeltetési az árbevétel növekedését eredményezi. A növekedést támogató konkrét stratégiai irányok kijelölésekor egyszerre kell figyelembe venni a külső környezetet és vállalati adottságokat [13]. Amennyiben a stratégia legfőbb céljának a tartós versenyelőny megszerzését tekintjük, Porter [14] alapján a megfelelő iparági pozícionálás, Barney [15] alapján pedig inkább az értékes vállalati erőforrások kiválasztása és fejlesztése a kritikus tényező. A Power-to-Gas Hungary Kft. stratégiai tervezésekor mindkét szempont érvényesítésre került.

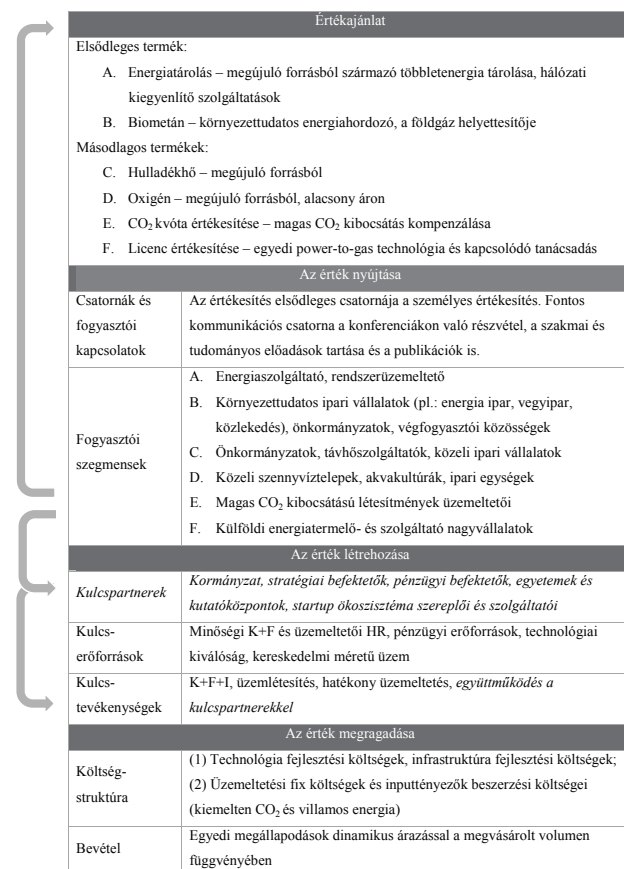
A külső környezet elemzésének fontos része volt a power-to-gas iparági szegmensek versenyintenzitásának összehasonlítása. A power-to-gas két domináns szegmense a power-to-hydrogen (P2H) és a power-to-methane (P2M). Bár a P2H folyamat a P2M folyamat alapja [11], és így a vállalkozás hidrogén előállítására is képes, a power-to-methane szegmens – már a külső tényezők alapján is – jövedelmezőbb szegmens, mint a power-to-hydrogen. Egyrészt, a hidrogén előállítási technológiája egyszerűbb és elérhetőbb, ezért kisebbek a belépési korlátok és már jelenleg is több szereplő van jelen a piacon (például hagyományos módon Linde, Messer, GCE Group; P2H technológiával a H2FUTURE, az OMV Wind2Hydrogen projektje, vagy a Shell Refhyne üze me). Bár a hidrogén fontos energiahordozó, tárolása és szállítása a jelenlegi infrastruktúrával hatékonyan vagy

egyáltalán nem megvalósítható, míg a biometán a rendelkezésre álló fölgázrendszerben tárolható és szállítható [16].

A P2M szegmensben való működés a belső erőforrások értékelése alapján is egyértelmű. Bár a P2M szegmensben is vannak versenytárs megoldások, például a biogáz feljavítás vagy a katalitikus metanizáció [17], de a biológiai metanizáció ezeknél jobb hatásfokra képes [3], a Power-to-Gas Hungary Kft. egyedi mikroorganizmusokat tartalmazó prototípusának eredményei pedig szintén kiemelkedő konverziós rátát mutatnak [18]. Arra is fontos rámutatni, hogy a külső és belső tényezők elemzése egymást támogató folyamat [19]. Ez a Power-to-Gas Hungary Kft. esetében abban mutatkozott meg, hogy a piackutatás alapján a hasonló innovatív energiatárolási technológiát fejlesztő, és nagyvállalati háttérrel rendelkező versenytársak (például a MicroEnergy a Viessmann Csoport tagjaként) a digitális képességek fejlesztésébe is beruháztak, melyet a Power-to-Gas Hungary Kft. is meglépett és egy innovatív, egyedi, power-to-gas technológia-specifikus tudás- és innovációmenedzsment platformot hozott létre. A stratégia képességoldali eleme az is, hogy hosszú távon újabb minőségi növekedésre lesz szükség, amely új termékfejlesztést (licencértékesítés, kapcsolódó műszaki tanácsadás) és új kutatás-fejlesztési és innovációs tevékenységeket is jelenthet, mely Greiner [20] alapján a növekedés határának elérésekor csak külső partnerek révén lesz megvalósítható.

A Power-to-Gas Hungary Kft. üzleti modellje és a kulcspartnerek szerepe

A Power-to-Gas Hungary Kft. üzleti modelljének a növekedési stratégia megvalósítását és a technológiai innováció hasznosítását kell lehetővé tennie, és összhangban kell lennie a fenti stratégiai irányokkal is [21].



1. ábra. A Power-to-Gas Hungary Kft. üzleti modellje

A vállalat elsődleges értékajánlata az energiatárolás és a biometán termelés, mint a földgáz környezettudatos alternatívája. A biometánt megújuló jellege miatt a CSR-ra hangsúlyt helyező nagy ipari vállalatok, illetve akár környezettudatos intézmények vagy lakóközösségek vásárolhatnak. Továbbá, a power-to-gas folyamat melléktermékeként hulladékhő és oxigén is keletkezik. Ezek a telephely függvényében más ipari vállalatoknak értékesíthetők, illetve a hulladékhő megvásárlásában a távhőszolgáltatók, önkormányzatok is érdekeltek lehetnek. Ezek a termékek hasonlóak abban, hogy elsősorban személyes értékesítés útján, egyedi megállapodások keretében, a vásárolt mennyiség függvényében dinamikus árazással adhatók el. Az értékajánlat létrehozásában egyaránt fontos elem a kutatás-fejlesztési és az üzemeltetői tudástőke, mind a technológiai kiválóság, mind a hatékony működtetés érdekében. Ezt megelőzően az üzemeltetéshez jelentős pénzügyi és műszaki erőforrások szükségesek. Ezen a ponton fontos rámutatni, hogy a power-to-gas üzleti modellnek figyelembe kell vennie a belső és külső környezet korlátozó tényezőit is, és azokra is megoldást kell nyújtania. A szakirodalmi áttekintés, a versenykörnyezet és a vállalkozás képességeinek elemzése alapján ez a megoldás a kulcspartnerek bevonását jelentheti:

- A power-to-gas folyamat skálázhatóságában az input tényezők is kritikusak, ugyanis a power-to-gas folyamat ipari méretű alkalmazásában egyik legfontosabb szempont a megfelelő mennyiségű szén-dioxid elérhetősége [17, 3]. A szén-dioxid szükséglet kielégítése a jelenlegi technológiai lehetőségekkel elsődlegesen a nagyobb szennyvíztelepek mellé települve megvalósítható. Ugyanakkor a CCS technológia fejlődésével hosszú távon akár a hagyományos szénérművek mellé történő település is opció lehet, de szakirodalom alapján a szén-dioxid leválasztása és tárolása technológiai kihívást jelent az eljárás költségessége és a tárolás nehézségei miatt is [22, 23]. A biológiai metanizációs technológia újdonsága miatt az üzemeltetés hatékonyságának javítása, illetve más kapcsolódó technológiákkal való esetleges szinergiák (például biogáz feljavítás vagy újabb elektrolízis technológiák) további K+F feladatokat irányoznak elő [24, 25, 26], melybe az akadémiai és startup világ is bevonásra kerülhet.
- A power-to-gas technológia jelentős potenciállal rendelkezik a hálózatoptimalizálás területén, a kereslet és a kínálat kiegyensúlyozásában [27, 28], de a lehetőség kiaknázásához az átviteli rendszerirányítóval, illetve a betáplált volumenek függvényében a földgázrendszer üzemeltetőjével is együttműködés szükséges.
- Az innovatív technológiát birtokló és fejlesztő startup vállalkozásnak a technológia ipari méretű kiaknázásához, a power-to-gas üzemek létesítéséhez külső partnerektől származó pénzügyi és szakmai erőforrásokra is szüksége van. A komplementer erőforrások azonosítása és kiaknázása a startupok és nagyvállalatok között kritikus feladat a power-to-gas üzemek létesítésében [29].
- A szabályozói rendszer függvényében a power-to-gas technológia komoly potenciállal bír az energiapolitikai célok eléréséhez [30, 4], azonban a jelenlegi szabályozói környezet még kevésbé ösztönző a megújuló energia integrációs kihívásait orvosolni képes technológiák alkalmazásához. Input oldalon megújuló villamos energia többletkapacitásának kedvezményes átvétele, a szén-dioxidot kibocsátó üzemektől a szén-dioxid átvételét szolgáló beruházások támogatása; output oldalon a biometán vásárlás ösztönzése, illetve

a hulladékhő vállalatközi hasznosításának támogatása olyan terület, melyen a szabályozási kérdések megvitatása az érintettek bevonásával a klímapolitikai célok és a vállalkozások szempontjából is pozitív hatással járhat.

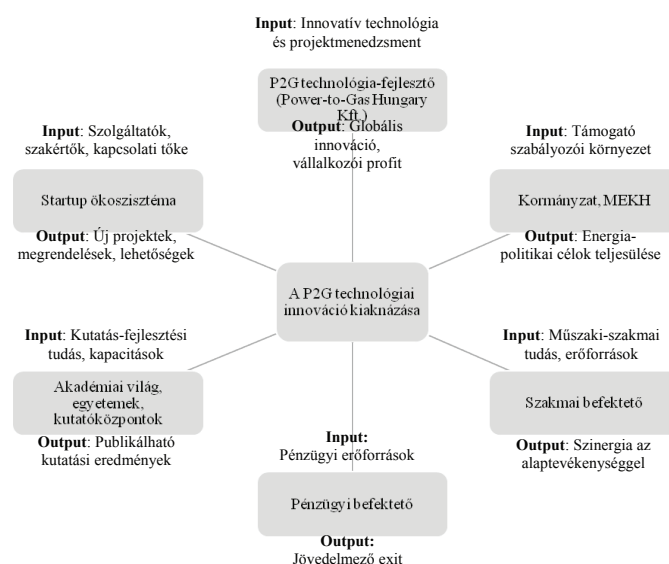
A fentiek alapján az értéktérítésben a kulcspartnerek szerepe kritikus, együttműködés nélkül a power-to-gas technológiában rejlő potenciál nem kerülhet kiaknázásra.

Konklúzió

A power-to-gas technológia, illetve annak biológiai metanizációs ága radikális technológiai innovációt jelent, és nagy mértékben hozzájárulhat a fenntarthatósági, energiapolitikai célok eléréséhez [30] [4]. A Power-to-Gas Hungary Kft. által fejlesztett és implementált power-to-gas technológia egyedi archea mikroorganizmusaival világszinten is kiemelkedő konverziós megoldást jelent, melyet a vállalkozás növekedési stratégiát követve kereskedelmi léptékben tervez hasznosítani. A technológia kereskedelmi méretű hasznosítása iparági szintű előnyöket jelenthet:

- Megújuló energiaforrások nagyobb léptékű integrációjának lehetővé tétele a többlet villamosenergia-kapacitás felhasználásával és ebből biometán előállításával
- A hálózat-üzemeltetői feladatok csökkentése a keresletet és kínálatot kiegyensúlyozó technológia révén
- Dekarbonizációs hatás, mivel a folyamat egyik inputtényezője a szén-dioxid.

A versenykörnyezet, a kutatási és szakirodalmi eredmények, illetve a startup vállalkozás képességeinek elemzése alapján az üzleti modell kritikus eleme a kulcspartnerek közötti széles körű együttműködés. Mindez elméleti modelljeink által is alátámasztott, hiszen Teece [6] rámutatott, hogy a technológiai innováció hatékony kiaknázásához a komplementer erőforrások és az együttműködő partnerek közös specializációja lehet szükséges. Továbbá, Dobák és társai [10] alapján a sikeres innovációs-növekedési stratégia kritikus feltétele nemcsak a specializált technológiai tudás és a folyamatok irányításának képessége, hanem a külső erőforrások becsatornázása is. Végül, a nemzetközi power-to-gas projektek tanulságai is a többszereplős üzleti modellek kialakítását indokolják [4, 30]. A power-to-gas technológiafejlesztés magyarországi többszereplős üzleti modelljét az alábbi ábra illusztrálja:



2. ábra. A power-to-gas technológiafejlesztés többszereplős üzleti modellje

A power-to-gas technológiai innovációjában rejlő potenciál széles körű együttműködéssel aknázható ki. A fenti ábrából az is látszik, hogy együttműködés minden szereplő számára jelentős megtérüléssel járna: míg a Power-to-Gas Hungary Kft. az innovatív technológiát és a projektmenedzsmentet biztosíthatja egy fenntartható üzleti modellben, addig az állam számára az energiapolitikai célok lesznek elérhetőbbek egy támogató szabályozói környezetben; a stratégiai és pénzügyi befektetők egy értékes portfólió vállalattal gazdagodnak a pénzügyi és szakmai erőforrások ellentételezéseként; az akadémiai és startup ökoszisztéma számára pedig új K+F+I lehetőségeket és új tudományos eredményeket jelentene az együttműködés.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet a Power-to-Gas Hungary Kft. befektetőinek, a Smart Future Lab Zrt. / MVM Csoport, illetve a Hiventures Zrt. / MFB Csoport képviselőinek, valamint a Vértesi Erőmű Zrt.-nek a K+F+I tevékenységek megvalósításának támogatásáért.

Irodalmi hivatkozások

- [1] C. A. Bollino és R. Madlener, „Foreword to the Special Issue on „High Shares of Renewable Energy Sources and Electricity Market Reform”,” *Energy Journal*, 2016 Special Issue, 37, pp. 1-4, 2016.
- [2] E. Ergüden és E. Çatlıoglu, „Sustainability Reporting Practices in Energy Companies With Topsis Method,” *Journal of Accounting & Finance*, pp. 201-221, 2016.
- [3] H. Blanco és A. Faaij, „A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 1049-1086, 2018.
- [4] S. Schiebahn, T. Grube, M. Robinius, V. Tietze, B. Kumar és D. Stolten, „Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, pp. 4285-4294, 2015.
- [5] Z. Csedő, B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, Sinóros-Szabó és B. „Biométánt előállító és hasznosító powerto-gas technológia műszaki és rendszerszintű fejlesztése,” in „Hogyan tovább a klímatudatos jövő felé?” konferencia, 2018.11.26., Budapest, Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2018.
- [6] D. J. Teece, „Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy,” *Research Policy*, 15 (6), p. 285–305, 1986.
- [7] A. Osterwalder és Y. Pigneur, *Business Model Generation*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [8] H. W. Chesbrough, *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology.*, Boston: HBS Press, 2003.
- [9] G. Bakacsi, „Együttműködni nem kell, hanem érdemes!,” *Harvard Business Review (Magyar Kiadás)*, 13 (9), pp. 32-42, 2011.
- [10] M. Dobák, L. Hortoványi és Z. R. Szabó, „A sikeres növekedés és innováció feltételei,” *Vezetéstudomány*, 43 (12), pp. 40-48, 2012.
- [11] M. Bailera, P. Lisbona, L. M. Romeo és S. Espatolero, „Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO₂,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, pp. 292-312, 2017.
- [12] E. Penrose, *The Theory of the Growth of the Firm*, Oxford: Basil Blackwell, 1959.
- [13] K. Balaton, L. Hortoványi, E. Incze, M. Lackzó, Z. R. Szabó és E. Tari, *Stratégiai menedzsment*, Budapest: Aula Kiadó, 2009.
- [14] M. Porter, *Competitive strategy: techniques for analysing industries and competition*, New York: Free Press, 1980.
- [15] J. B. Barney, „Firm resources and sustained competitive advantage,” *Journal of Management*, 17 (1), p. 99–120. DOI: 10.1177/014920639101700108, 1991.
- [16] J. Ikaheimo, J. Kivilouma, R. Wiess és H. Holttinen, „Power-to-ammonia in future North European 100 % renewable power and heat system,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, pp. 17295-17308, 2018.
- [17] M. Götz, J. Lefebvre, F. Mörs, A. McDaniel Koch, F. Graf, S. Bajohr, R. Reimert és T. Kolb, „Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review,” *Renewable Energy*, 85, pp. 1371-1390, 2016.
- [18] B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, F. Popp, P. Grima és Z. Csedő, „Biomethane production monitoring and data analysis based on the practical operation experiences of an innovative power-to-gas benchscale prototype,” *Journal of Agricultural Sciences*, 150, pp. 399-410, 2018.
- [19] J. Fejes, „Innovációs kalandozások az elmélettől a stratégiáig/Innovation adventuring from theory to strategy,” *Vezetéstudomány/Budapest Management Review*, 46 (6), pp. 58-69, 2015.
- [20] L. E. Greiner, „Evolution and Revolution as Organizations Grow,” *Harvard Business Review*, 50 (4), p. 37–46., 1972.
- [21] C. Zott és R. Amit, „The fit between product market strategy and business model: Implications for firm performance,” *Strategic Management Journal*, 29, pp. 1-26, 2008.
- [22] T. Kapros, „Erőműi CCS technológiák költségei, a piacképességet fokozó intézkedések,” *HulladékOnline Elektronikus Folyóirat*, 3 (2), p. 16 p., 2012.
- [23] J. J. C. Phelps et al., „Modelling large-scale CO₂ leakages in the North Sea,” *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 38, pp. 210-220, 2015.
- [24] Y. Luo, Y. Shi, W. Li és N. Cai, „Synchronous enhancement of H₂O/CO₂ co-electrolysis and methanation for efficient one-step power-to-methane,” *Energy Conversion and Management*, 165, pp. 127-136, 2018.
- [25] T. T. Q. Vo, K. Rajendran és J. D. Murphy, „Can power to methane systems be sustainable and can they improve the carbon intensity of renewable methane when used to upgrade biogas produced from grass and slurry?,” *Applied Energy*, 228, pp. 1046-1056, 2018.
- [26] B. Simonis és M. Newborough, „Sizing and operating power-to-gas systems to absorb excess renewable electricity,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, pp. 21635-21647, 2017.
- [27] T. Zoss, E. Dace és D. Blumberga, „Modeling a power-to-renewable methane system for an assessment of power grid balancing options in the Baltic States' region,” *Applied Energy*, 170, pp. 278-285, 2016.
- [28] G. Guandalini, S. Campanari és M. C. Romani, „Power-to-gas plants and gas turbines for improved wind energy dispatchability: Energy and economic assessment,” *Applied Energy*, 147, pp. 117-130, 2015.
- [29] M. Zavarkó, Z. Csedő és B. Sinóros-Szabó, „Dynamic Co-Capabilities in Innovation Management: the Case of Power-to-Gas Technology Development and Implementation,” *Journal of Energy Technologies and Policy*, 8 (8), pp. 41-52, 2018.
- [30] M. Jentsch, T. Trost és M. Sterner, „Optimal Use of Power-to-Gas Energy Storage Systems in an 85% Renewable Energy Scenario,” *Energy Procedia*, 46, pp. 254-261, 2014.

Nemzetközi power-to-gas technológia fejlesztési projektek tanulságai

Zavarkó Máté

üzletfejlesztési menedzser, Power-to-Gas Hungary Kft.

A gyors fejlődésben lévő nemzetközi power-to-gas iparágban néhány kereskedelmi méretű üzem mellett többségében még kutatás-fejlesztési projektek elemzése található a szakirodalomban. A nemzetközi power-to-gas projektek tanulságai alapján a power-to-gas technológia fejlesztés és implementáció kritikus sikertényezőjének számít az energetikai vállalatok és a kutatóközpontok együttműködése, valamint mind a magánbefektetők, mind pedig az állami szféra pénzügyi támogatása. A nemzetközi összehasonlítás alapján a magyarországi power-to-gas üzleti modell potenciális megkülönböztető képessége négy elemből állhat: kereskedelmi méretű biometanizációs üzemek létesítése és üzemeltetése, kimagasló hatékonyságú és szabadalmaztatott technológia alkalmazása, „first mover” stratégia követése a közép és kelet európai régióban és a komplementer erőforrások dinamikus kiaknázása a piaci szereplők között. A sikerkritériumoknak való megfeleléssel és a megkülönböztető képességekkel a magyar power-to-gas üzleti modell nemzetközi szinten nemcsak versenyképessé, de vezetővé is válhat.

*

In the scientific literature of rapidly growing power-to-gas industry one could identify research data of few commercial-scale plants and many projects in research and development phase. Based on lessons of international power-to-gas projects, critical success factors of power-to-gas technology development and implementation are the cooperation among energy companies and research centers, as well as significant financial support of state institutions. Compared to the international power-to-gas projects, the Hungarian power-to-gas business model could have four distinctive capabilities: establishment and operations of commercial-scale biomethanation plants, usage of the proprietary technology with outstanding efficiency, first-mover strategy in the CEE region and dynamic exploitation of complementary resources among market players. If critical success criteria are met and distinctive capabilities are realized, the Hungarian power-to-gas business model could be not only competitive but leading one on international level.

A gyorsan változó környezet a menedzsment szakirodalom és különböző iparági tapasztalatok alapján is az iparág vállalatain belül szervezeti változásokhoz vezethet [1, 2, 3]. Nincs ez másképp az energetikában sem, ahol a szervezetek változás-szenárióinak [4] akár az alaptechnológia, mint lényeges szervezeti jellemző megváltozására is fel kell készülnie [5]. Következésképp a megújuló energiák felhasználásához és a dekarbonizációs törekvésekhez egyaránt illeszkedő power-to-gas technológia [6, 7] fejlesztési és alkalmazási lehetőségei kisebb és nagyobb nemzetközi szereplők érdeklődését is felkeltette [8]. Bár az innovatív power-to-gas technológia energiaszektorra gyakorolt potenciális hatásaival és eddigi

kutatás-fejlesztési eredményeivel a nemzetközi szakirodalom az utóbbi években egyre intenzívebben foglalkozik [9, 10], a gyakorlatban az ígéretes metanizációs technológia széles körű, iparági szintű implementációja még várat magára [11]. A power-to-gas technológia témájának nemzetközi szakirodalomban való terjedése, a Power-to-Gas Hungary Kft. innovatív biológiai metanizációs technológiában rejlő lehetőségek és az innováció hasznosításában kritikus menedzseri képességek [12, 10] egyaránt indokolják a téma hazai kutatását és stratégiai közelítését (is). Ennek részeként a szerző nemzetközi szakirodalmi áttekintés és saját kutatás alapján összegzi a főbb nemzetközi power-to-gas projektek tanulságait. A kutatás arra a kérdésre keresi a választ, hogy nemzetközi szinten miként jellemezhető a power-to-gas iparág, milyen technológiák versenyeznek egymással, illetve a projektek tanulságai alapján melyek a magyar power-to-gas üzleti modell kritikus sikertényezői és megkülönböztető képességei nemzetközi viszonylatban.

Elméleti és módszertani keretek

A stratégiai tervezés lényege a környezeti illeszkedés elérése, a külső környezeti tényezők és a szervezeti adottságok illesztésével [13, 14]. A versenykörnyezet elemzésével meghatározhatók azon kritikus sikertényezők, melyek nélkül a szervezet nem lehet képes életben maradni az adott piacon, míg a belső adottságok elemzésével azonosíthatók azon értékes szervezeti erőforrások, melyek megkülönböztető képességként a tartós versenyelőny forrásai lehetnek [15, 16, 17]. A külső elemzés egyik fontos eleme az iparág érettségének vizsgálata, mely utat mutat a technológiai változások és beruházások menedzseléséhez [18]. Egy iparág klasszikusan négy fázison megy keresztül: (1) a kezdeti próbálkozások, ahol még kevésbé tiszták az iparági határok és normák; (2) a felfutás és konszolidáció, ahol egyes technológiák elterjednek és egyes szereplők dominánssá válnak; (3) az érettség, ahol már magasak a belépési korlátok és a növekedési lehetőségek lassan kimerülnek; (4) a hanyatlás, ahol a csökkenő profitszint miatt az iparági szereplők váltásra kényszerülnek [19, 18]. A külső környezeti elemzésnek az iparág vizsgálatán túl a versenytársak tevékenységeinek, jó gyakorlatainak feltárása is része lehet. Ez a stratégiai menedzsmentben a benchmarking tevékenység folytatását jelenti, mely nem a másolást, hanem a gyakorlatok saját erőforrásokkal történő összehasonlítását és továbbfejlesztését foglalja magában [18]. Továbbá, a „best practice” stratégiák alkalmazásakor a saját környezeti szituációra is tekintettel kell lenni [20]. Egyes menedzsmentkutatók szerint a benchmarking célja szintén a versenyelőny szerzése, viszont itt nem az értékes erőforrások feltárásán és fejlesztésén, hanem a saját és a versenytársak erősségeinek és gyengeségeinek azonosításán, a jó gyakorlatok és a szervezeti különbségek feltárásán, illetve ezek alapján a gyakorlatok továbbfejlesztett adaptálásán van a hangsúly [21]. A benchmarking jól definiált folyamatlépésekből állhat, melyek a következőkben kerülnek bemutatásra, a konkrét power-to-gas témájú kutatás részleteivel.

A tervezés során az elemzés tárgya és az adatgyűjtés módja kerül meghatározásra. A tervezés kiindulópontja, hogy a Power-to-Gas Hungary Kft. stratégiai célja kereskedelmi méretű üzemek létesítése, és stratégiai irány a további kutatás-fejlesztés is [22]. Bár a kereskedelmi méretű üzemek elindulásával a vállalati folyamatok standardizálására lesz szükség, az üzemlétesítések és a K+F+I tevékenységek projektek keretében fognak megvalósulni, ezért az elemzés a nemzetközi power-to-gas projektek körülményeire és eredményeire fókuszál. Az adatgyűjtés a power-to-gas szakirodalom vizsgálatára és saját piackutatásra épül. Az elemzésbe bekeverülő projektek kiválasztási szempontja, hogy azok a Power-to-Gas Hungary stratégiaja alapján relevánsak legyenek (A) a technológia, (B) a K+F+I teljesítmény vagy (C) az üzemi teljesítmény aspektusából. Az elemzési szempontok a képesség-alapú stratégiai iskolára épülnek [16, 23, 1], mivel az innovációs folyamatok központi eleme a vállalati tudás és a vállalati kompetenciák [24]. A fókusz a technológiai megoldásokon és a projektben résztvevők tevékenységén van, mint a kiemelkedő K+F teljesítményhez és az ipari méretű üzemlétesítéshez szükséges azon kompetenciákon, melyek a nyitott innováció korában [25] stratégiai együttműködések révén biztosíthatók [26]. Az elemzés alapján összegző következtetések kerülnek meghatározásra a nemzetközi power-to-gas iparág jellemzőiről, a projektek tanulságairól és a Power-to-Gas Hungary Kft. kritikus sikertényezőiről és megkülönböztető képességeiről, melyek átvetetnek a benchmarking integráció és akciótervezés részéhez. [21] A tanulmányban az elemzés rész eredményei kerülnek ismertetésre, azzal a céllal, hogy a nemzetközi projektek tanulságait a magyar power-to-gas üzleti modell is integrálja és ezeket figyelembe véve kerüljön sor az akciótervezésre.

Az elemzés eredményei

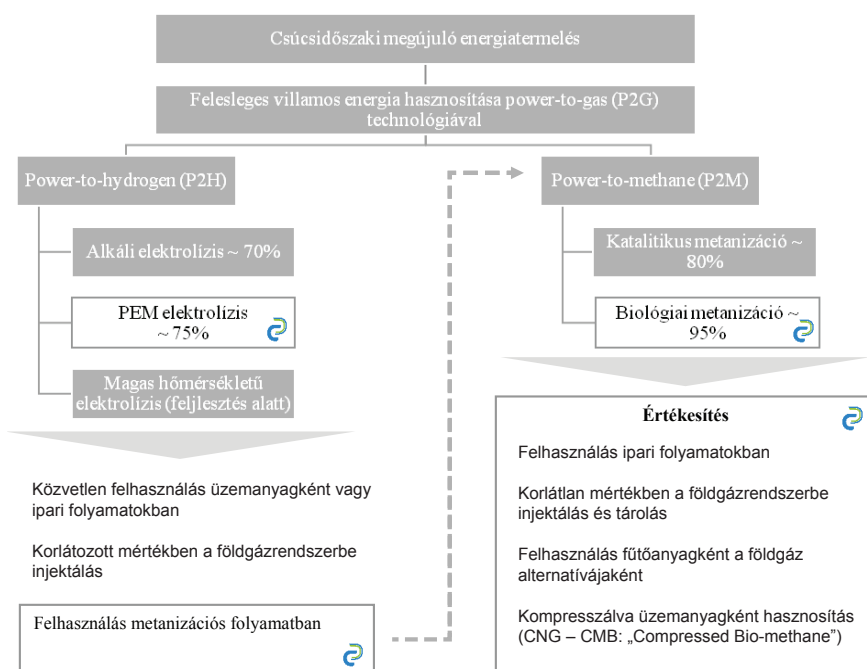
A power-to-gas szektor határai és technológiái

A power-to-gas fogalom egyszerű fordításban a villamos energiából gázt előállító technológiákat jelöli, ugyanakkor a szakirodalmi meghatározások részleteikben eltérőek. A power-to-gas nemzetközi irodalmát áttekinthető tudományos munkákban a következő definíciók születtek:

1. Schiebahn és társai szerint a power-to-gas kifejezés kémiai energiahordozók előállítását jelenti, csúcsidőszakban termelt villamos energia felhasználásával. [6]
2. Götz és társai szerint a power-to-gas folyamat lényege a felesleges villamos energia átalakítása olyan gázzá, mely a gázhálózatba injektálható [27].
3. Baleira és társai szerint a power-to-gas rendszer villamos energiából szintetikus földgázt állít elő. [8]
4. Ghaib és Ben-Fares szerint a power-to-gas egy olyan energiatárolási technológia, mely kémiai folyamatokkal dolgozik. [11]
5. Blanco és Faaij szerint a power-to-gas technológia a villamos energia átalakítását jelenti hidrogénné, azzal a lehetőséggel, hogy később szén-dioxiddal kombinálva metántermelés történjen. [9]

Az utolsó definíció jól kifejezi a power-to-hydrogen (P2H) és a power-to-methane (P2M) folyamatok egymásra épülését. Ez illeszkedik a megtermelt hidrogén alkalmazási területeihez is [6]: közvetlen felhasználás (például üzemanyagként), a határértékek mellett korlátozott mértékű injektálás a földgázrendszerbe, kombinálás szén-dioxiddal metántermeléshez [28, 29].

A P2H és a P2M esetében is különböző technológiák versenyeznek egymással. A legfrissebb szakirodalmi eredmények alapján a P2H folyamatot megvalósító elektrolízis három formáját alkalmazzák és kutatják. A széles körben alkalmazott alkáli elektrolízis és PEM (polimer elektrolit membrános) elektrolízis mellett [27, 8, 11] új kutatási terület a magas hőmérsékletű (vagy szilárd oxid) elektrolízis, mely képes lehet integrálni a H_2O/CO_2 közös elektrolízist és metanizációs reakciókat [30, 31]. Azonban ez a technológia még csak fejlesztési szakaszban van, ellentétben a már kereskedelmi léptékben hasznosított alkáli elektrolízissel és PEM elektrolízissel [11]. A P2M szegmensben a katalitikus (vagy Sabatier) és a biológiai metanizációs technológiák „versenyeznek” egymással [27]. A Sabatier folyamatban nikkel és ruténium alapú katalizátorokat használnak [6], míg a biológiai metanizáció során a metanogén mikroorganizmusok funkcionálnak biokatalizátorként [27]. Utóbbi magasabb teljesítményre képes, mivel a biológiai metanizációval 95% feletti hatékonyság, míg a katalitikussal csak 70-85%-os hatékonyság érhető el [9]. A magas metántartalmú termékgáz a földgázhálózatba injektálható, és a földgáz alternatívájaként fűtőanyagként, kompresszáva üzemanyagként, vagy egyéb ipari folyamatokban felhasználó [11]. A biogáz feljavítás, mely során a CO_2 leválasztásra kerül a termékgázból, így növelve annak metántartalmát, abban az értelmezésben nem számít power-to-gas technológiának, melyben a villamos energia eltárolása és a szén-dioxid átalakítása feltétel [8]. A bemutatott szakirodalmi megállapításokat az 1. ábra összegzi, egyúttal rámutatva a Power-to-Gas Hungary Kft. megoldásának jellemzőire is.



1. ábra. A power-to-gas technológia hozzáadott értéke és felhasználása a szakirodalmi áttekintés alapján (a Power-to-Gas Hungary Kft. tevékenységei logóval jelezve)

Az ábra rámutat, hogy a Power-to-Gas Hungary Kft. az elérhető leghatékonyabb power-to-gas technológiákat alkalmazza és fejleszti tovább.

Power-to-gas projektek és tanulságai

A következőkben a P2M szegmens projektjeivel foglalkozunk, mivel a Power-to-Gas Hungary Kft. is ebben a szegmensben működik, illetve a jelenlegi infrastrukturális adottságok mellett inkább a metanizációs technológiában rejlik magas energiatárolási potenciál [9]. Amint az fentebb ismertetésre került, a P2M szegmensben a katalitikus és a biológiai metanizációs technológia kerül alkalmazásra. Baleira és társai [8] alapján a katalitikus metanizáció magasabb projektszáma (22 katalitikus és 12 biológiai metanizációs projekt), a technológia 20. század elején történt kifejlesztése és 1970-es évek óta tartó egyre gyakoribb alkalmazása [27], illetve – esetenként szabadalmaztatott – szelektív mikroorganizmusokkal dolgozó, újabb és magasabb hatékonyságra képes biológiai metanizációs technológia kifejlesztése [32] arra utal, hogy utóbbi innovációtartalma magasabb. Fontos azonban hozzátenni, mindkét technológiával kapcsolatban folynak kutatások [10]. A következőkben a nemzetközi P2M projektek közül azok kerülnek bemutatásra, melyek (1a) teljesítményük vagy (1b) technológiájuk alapján kiemelkedőnek (újítónak) számítanak a P2M szegmensben, és (2) elegendő információ elérhető róluk az Elméleti és módszertani keretek fejezetben kijelölt elemzési szempontok vizsgálatához. Az elemzett projektek alapadatait az 1. táblázat mutatja.

A katalitikus metanizáció terén az Audi e-gas projektje és a HELMETH projekt emelhető ki. Az Audi wertle-i üze me 2013 óta működik és 6 MW teljesítményével a világ legnagyobb power-to-gas erőműve. A hidrogénelőállításához szükséges villamos energia az Északi-tengernél elhelyezkedő szél erőmű parkból származik, a szén-dioxid egy szomszédos biogázüzem által előállított nyers biogázból kerül leválasztásra. Az üzem 54%-os hatékonyságú power-to-gas folyamattal SNG-t állít elő, mely Wertle földgázrendszerébe kerül beinjektálásra. A melléktermékként termelt hulladékhő a biogáz üzem és a szén-dioxid leválasztás folyamataiban kerül újrahasznosításra. A üzem létesítését számos K+F fázis előzte meg, köztük nyers biogáz metanizációjának tesztelése és egy 250 kW-os tesztüzem létesítése Stuttgart közelében. A projekt elsősorban az ETOGAS technológia-fejlesztésére épült, de a projekt különböző fázisaiban részt vett több energetikai kutatóintézet (ZSW, Fraunhofer IWES), az EWE Biogas, mint a biogáz üzem tulajdonosa, és az Audi, mint finanszírozó. [11, 8, 33] Az Audi e-gas projekt tanulsá-

ga a Power-to-Gas Hungary Kft. szempontjából, hogy egy iparági szinten kiemelkedő méretű üzem létrehozásához széles körű összefogás szükséges, melyben a kutatóintézetnek, a stratégiai befektetőknek és az inputtényezőket biztosító kulcspartnerek is meg kell jelenniük.

A HELMETH (High-Temperature Electrolysis and Methanation) projekt 2014 és 2017 között valósult meg részben az Európai Unió 2,5 millió eurós finanszírozásával, mely egy magas hatékonyságú power-to-gas folyamatot demonstrált a magas hőmérsékletű (szilárd oxid) elektrolízis és a katalitikus szén-dioxid metanizáció technológiáját kombinálva. Ez a megoldás még kísérleti jellegű és jelentős kutatás-fejlesztést igényel, ezt mutatja az elektrolizátor 15 kW-os teljesítménye is. A már lezárt, de a területen előrelépést jelentő 76%-os hatékonyságú technológia fejlesztést a Kalsruhe-i Technológiai Intézet vezette, de részt vett benne a Sunfire technológia-fejlesztő vállalat, a Torinói Műszaki Egyetem, az Európai Katalízis Kutatóintézet, az Athéni Nemzeti Műszaki Egyetem és a Német Gáz- és Vízügyi Technikai és Tudományos Egyesület is [8, 11, 34, 35]. A HELMETH projekt tanulsága, hogy a kiemelkedő K+F+I teljesítmény eléréséhez egyetemek, kutatóintézetek, non-profit szervezetek és vállalkozások együttműködése mellett egy állami vagy nemzetközi szervezet pénzügyi támogatása is szükséges lehet.

A biológiai metanizáció esetében a Viessmann Csoporthoz tartozó MicrobEnergy hozta létre az első kereskedelmi méretű üzemet Allendorfban. A BioPower2Gas üzem 2015 óta működik és injektál SNG-t a földgáz hálózatra, melyhez a Viessmann Csoport két közeli biogáz üzeméből biztosítják a szén-dioxid forrást. Az üzem két 150 kW-os PEM elektrolizátorral állítja elő a folyamathoz szükséges hidrogént. A projektben az ipari, hűtő és fűtő berendezéseket gyártó nemzetközi Viessmann Csoport mellett az EnergieNetz Mitte hálózatzüzemeltető, az EAM EnergiePlus energiaszolgáltató és a CUBE mérnöki tanácsadó vállalat, illetve a Decentralizált Energia Technológiák Intézet (iDe) és a Német Biomassza Kutatóközpont (DBFZ) is részt vett. A projekt finanszírozásához a Szövetségi Gazdasági és Energiaügyi Minisztérium is hozzájárult. A kereskedelmi méretű üzem létesítését négy kutatás-fejlesztési fázis előzte meg: laboratóriumi kutatás, tiszta források biológiai metanizációja (55 kW-os elektrolizátor), nyers biogáz metanizációja (120 kW-os elektrolizátor) és szennyvízből származó biogáz metanizációja (180 kW-os elektrolizátor). Fontos arra is rámutatni, hogy a MicrobEnergy a power-to-gas technológia fejlesztés mellett a technológia energia szektorba való integrációjára is törekszik, ezért a különböző rendszereket összekötő IoT rendszert fejlesztett [8, 36, 37, 38].

A BioPower2Gas projekt tanulsága, hogy a projekt szereplői között széles energetikai szaktudással rendelkező energiaszolgáltató és hálózatzüzemeltető is megtalálható, továbbá a power-to-gas technológia fejlesztés és implementáció összekapcsolódhat a támogató digitális megoldások fejlesztésével is.

Az Electrochaea GmbH BioCat üze me a dániai Avedøre-ban a legnagyobb kereskedelmi méretű biológiai metanizációs technológiával működő power-to-gas üzem 1 MW-os elektrolizátor teljesítményével. Az Electrochaea folyamatának kulcsa az a metanogén archea törzs, mely

1. táblázat. Bemutatott nemzetközi projektek

Projekt	Lokáció	Elektrolizátor technológia	Elektrolizátor teljesítménye (kWe)	Metanizációs technológia	Elemzési relevancia
ETOGAS – Audi e-gas üzem	Wertle, Németország	Alkáli	6000	katalitikus	Kiemelkedő teljesítmény
Sunfire - HELMETH	Kalsruhe, Németország	Magas hőmérsékletű	15	katalitikus	Innovatív elektrolízis technológia
MicrobEnergy – BioPower2Gas	Allendorf, Németország	PEM	300	biológiai	Első kereskedelmi méretű erőmű biológiai metanizációval
Electrochaea - BioCat	Avedøre, Dánia	Alkáli	1000	biológiai	Szabadalmaztatott mikroorganizmus, legnagyobb biológiai metanizációs üzem
RAG - Underground Sun Storage	Pilsback, Ausztria	Alkáli	500	biológiai	Földrajzilag legközelebbi versenytárs

98,6%-os hatékonysággal képes a szén-dioxid és hidrogén keverékét metánná alakítani, és melyet a Power-to-Gas Hungary Kft. saját power-to-gas technológiában, Közép- és Kelet-Európában hasznosíthat. A szén-dioxid forrása nyers biogáz és hagyományos biogáz feljavító rendszer is lehet, mely utóbbi tiszta szén-dioxidot biztosít. A lokálisan keletkező szélenergia-többlet kerül felhasználásra a folyamatban, továbbá a melléktermékként keletkező oxigént is újrahasznosítják a közeli szennyvíztisztítási folyamatban. A termékgáz az elosztóhálózatba kerül, ezzel növelve a dán energiarendszer energiátárolási képességeit. A projektben részt vett a dán villamosenergia- és gázrendszer üzemeltető Energinet, az elektrolizátort szállító Hydrogenics, a NEAS Energy energetikai eszközkészítő, az HMN Gashandel A/S gázszolgáltató, a Biofos A/S szennyvíztelep-üzemeltető, az Insero energetikai tanácsadó és fejlesztő vállalat, illetve az Audi is. Hasonlóképp a Microenergy és az Audi üzeméhez, itt is megelőző K+F fázisokra került sor, beleértve egy laboratóriumi és egy 250 kW-os üzemet is. Az Electrochaes GmbH által vezetett technológia-fejlesztés finanszírozásában stratégiai befektetők (energie 360°, Caliza Holding) és kockázati tőkealapok (b-to-v, Munich Venture Partners, Sirius Venture Partners) is részt vesznek [8, 39, 40, 41]. A BioCat projekt tanulsága, hogy a technológia fejlesztésben és implementációban stratégiai és pénzügyi befektetőkre is szükség van, és az inputforrás biztosítója szennyvíztisztító-telep is lehet, mely közelsége az oxigén melléktermék újrahasznosítását is lehetővé teszi. Továbbá, a Power-to-Gas Hungary Kft. által is alkalmazott egyedi metanogén archaea törzs bizonyította kimagasló hatékonyságát az ipari méretű megújuló energiátárolásban.

Hazánkhoz legközelebb az ausztriai Underground Sun Storage projekt valósul meg, mely 4,9 millió euró állami finanszírozást is kapott az Osztrák Klíma és Energia Alapból. A technológia megújuló energiából (elsődlegesen napenergiából) egy 500 kW teljesítményű elektrolizátorral hidrogént és oxigént állít elő. A hidrogént egy 1000 méterrel a föld alatt levő gyűjtőmedencében tárolják, amelyhez biogén forrásból származó szén-dioxidot adnak. Itt a természetes módon előforduló mikroorganizmusok rövid időn belül a hidrogént és a szén-dioxidot biometánná alakítják, mely a földgázrendszerbe injektálható. Ellentétben a korábbi power-to-gas technológiákkal, itt melléktermékként nem oxigén és hő, hanem víz keletkezik. A projekt az RAG tulajdonában van. A RAG egy osztrák energiaipari részvénytársaság, amely az olaj- és földgáz hatékony tárolásával és előállításával foglalkozik. A projektben részt vesz továbbá a Loeben-i Egyetem, a bécsi Természetes Erőforrások és Élettudományok Egyetem, az Osztrák Ipari Biotechnológia Központ, és a Linz-i Egyetem is. Az Underground Sun Storage elsősorban egy kutatás-fejlesztési projekt, mely tervezetten 2020-ig tart. [42, 43]. Az Underground Sun Storage projekt tanulsága, hogy Magyarország közvetlen szomszédságában is jelentős állami források áramlanak egy power-to-gas kutatási projektbe, melynek koordinálójá egy profitorientált energetikai vállalat és mely számos egyetem és kutatóközpont közreműködésével valósul meg.

Konklúzió

A kutatás eredményei alapján a power-to-gas iparág nemzetközi szinten gyorsan fejlődik, az iparág határai már világosak, de még nem került sor egyes technológiák iparági szabvánnyá válására és nincsenek még rendkívül domináns szereplők. Az iparágban néhány kereskedelmi méretű üzem mellett egyelőre még számos K+F projekt fut. Az iparágban belül power-to-hydrogen és power-to-

methane szegmens különíthető el, melyek egymásra épülnek és melyeken belül két-három technológia versenyez egymással.

A projektek tanulságait stratégiai szempontból értelmezve a magyarországi power-to-gas üzleti modell kritikus sikertényezője egyrészt az együttműködés egy innovatív technológia-fejlesztő startup (Power-to-Gas Hungary Kft.), energetikai nagyvállalatok (energiaszolgáltató, hálózatüzemeltető) és kutatóközpontok között, másrészt a pénzügyi támogatás stratégiai és/vagy pénzügyi befektetőktől, illetve az állami szférától. A belső adottságokat és célokat a külső környezettel összevetve (illetve a menedzsment szakirodalmat is figyelembe véve) négy megkülönböztetett képesség azonosítható:

1. Technológia

A Power-to-Gas Hungary Kft. által (is) alkalmazott biológiai metanizáció, és azon belül is a szabadalmaztatott archaea törzs nemzetközi viszonylatban is kiemelkedő hatékonyságú technológiának számít [8].

2. Üzemi teljesítmény

A Power-to-Gas Hungary Kft. kereskedelmi méretű biológiai metanizációs üzemek létesítését tervezi [22].

3. Piacra lépési stratégia

A Power-to-Gas Hungary Kft. az első piaci szereplő a közép- és kelet-európai régióban, a „first mover” stratégia követésével magas piaci részesedés és jövedelmezőség érhető el [44].

4. Üzleti modell

A magyar power-to-gas technológia fejlesztés és implementáció többszereplős üzleti modelljében a meghatározó iparági szereplők, a startup-ökoszisztéma, az akadémiai világ és az állami érintettek komplementer erőforrásainak dinamikus kiaknázására kell törekedni [10, 14].

A sikerkritériumoknak való megfeleléssel, illetve meglévő és tervezett megkülönböztető képességek realizálásával a technológiában rejlő potenciál nemzetközi szinten is egyedülálló módon kiaknázható lehet Magyarországon.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet a Power-to-Gas Hungary Kft. befektetőinek, a Smart Future Lab Zrt. / MVM Csoport, illetve a Hiventures Zrt. / MFB Csoport képviselőinek, valamint a Vértesi Erőmű Zrt.-nek a K+F+I tevékenységek megvalósításának támogatásáért.

Irodalmi hivatkozások

- [1] D. J. Teece, G. Pisano és A. Schuen, „Dynamic capabilities and strategic management,” *Strategic Management Journal*, 18 (7), pp. 509–533. DOI: 10.1002/(sici)1097-0266(199708)18:7<509::aid-smj882>3.0.co;2-z, 1997.
- [2] Z. Csödő, *Szervezeti változás és változásvezetés a folyamatos differenciálódás és integráció tükrében: az innovatív gyógyszeripar példája*, Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, 2006.
- [3] L. Hortoványi és K. Balaton, „A versenyképesség és az innováció vállalati szintű vizsgálata,” *Vezetéstudomány / Budapest Management Review* 47 (12), pp. 38–45. DOI: 10.14267/VEZTUD.2016.12.04., 2016.
- [4] Z. Csödő, B. Nagy, M. Dobák, C. Dózsa és L. Gulácsi, „Új modellek a modellben: Felső vezetői kihívások az irányított betegellátási modell tükrében,” *Orvosi hetilap*, 144 (23), pp. 1135–1143, 2003.

- [5] Z. Csédő, „Útmutató a sikeres változáshoz: a szervezeti változás típusai,” *Körház*, 14 (9), pp. 56-57, 2007.
- [6] S. Schiebahn, T. Grube, M. Robinus, V. Tietze, B. Kumar és D. Stolten, „Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, pp. 4285-4294, 2015.
- [7] Z. Csédő, „Power-to-Gas: egy ígéretes lehetőség a megújuló energiaforrások integrációjára,” *Zöld Ipar Magazin*, 7 (10), pp. 28-29, 2017.
- [8] M. Bailera, P. Lisbona, L. M. Romeo és S. Espatolero, „Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO₂,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, pp. 292-312, 2017.
- [9] H. Blanco és A. Faaij, „A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 1049-1086, 2018.
- [10] M. Zavarkó, Z. Csédő és B. Sinóros-Szabó, „Dynamic Co-Capabilities in Innovation Management: the Case of Power-to-Gas Technology Development and Implementation,” *Journal of Energy Technologies and Policy*, 8 (8), pp. 41-52, 2018.
- [11] K. Ghaib és F. Z. Ben-Fares, „Power-to-Methane: A state-of-the-art review,” *Renewable and Sustainable Reviews*, 81, pp. 433-446, 2018.
- [12] M. Dobák, L. Hortoványi és Z. R. Szabó, „A sikeres növekedés és innováció feltételei,” *Vezetéstudomány*, 43 (12), pp. 40-48, 2012.
- [13] P. R. Lawrence és J. W. Lorsch, *Organization and Environment: Managing Differentiation and Integration.*, Boston: Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University, 1967.
- [14] D. J. Teece, „Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy,” *Research Policy*, 15 (6), p. 285-305, 1986.
- [15] M. Porter, *Competitive strategy: techniques for analysing industries and competition*, New York: Free Press, 1980.
- [16] J. B. Barney, „Firm resources and sustained competitive advantage,” *Journal of Management*, 17 (1), p. 99-120. DOI: 10.1177/014920639101700108, 1991.
- [17] G. Marosán, *A 21. század stratégiai menedzsmentje*, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 2006.
- [18] K. Balaton, L. Hortoványi, E. Incze, M. Lackzó, Z. R. Szabó és E. Tari, *Stratégiai menedzsment*, Budapest: Aula Kiadó, 2009.
- [19] N. G. Foster, *Innovation: The Attacker's Advantage*, New York: Summit Books, 1986.
- [20] Z. Csédő, „Hogyan lássunk neki a stratégiaalkotásnak? Stratégiai megközelítések,” *Körház*, 14 (10), pp. 32-33, 2007.
- [21] N. M. Lema és A. D. F. Price, „Benchmarking: Performance Improvement Toward Competitive Advantage,” *Journal of Management in Engineering*, 11 (1), pp. 28-37, 1995.
- [22] Z. Csédő, B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, „Biométánt előállító és hasznosító powerto-gas technológia műszaki és rendszerszintű fejlesztése,” in „*Hogyan tovább a klímatudatos jövő felé?*” konferencia, 2018.11.26., Budapest, Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2018.
- [23] R. M. Grant, „Prospering in Dynamically-Competitive Environments: Organizational Capabilities as Knowledge Integration,” *Organization Science*, 7 (4), p. 375-387, 1996.
- [24] Z. Sára, Z. Csédő, J. Fejes, T. Tóth és G. Pörzse, „Innovációmenedzsment és innovációs stratégiák - a vállalati tudás szerepe az innovációs folyamatokban,” *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 45 (10), pp. 42-48., 2014.
- [25] H. W. Chesbrough, *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology.*, Boston: HBS Press, 2003.
- [26] G. Bakacsi, „Együttműködni nem kell, hanem érdemes!,” *Harvard Business Review (Magyar Kiadás)*, 13 (9), pp. 32-42, 2011.
- [27] M. Götz, J. Lefebvre, F. Mörs, A. McDaniel Koch, F. Graf, S. Bajohr, R. Reimert és T. Kolb, „Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review,” *Renewable Energy*, 85, pp. 1371-1390, 2016.
- [28] J. Ikaheimo, J. Kivilouma, R. Wiess és H. Holttinen, „Power-to-ammonia in future North European 100 % renewable power and heat system,” *m. International Journal of Hydrogen Energy*, 43, pp. 17295-17308, 2018.
- [29] A. B. Galyas, „Hidrogén a földgázhálózatban – Fikció vagy már a valóság?,” in 26. *Dunagáz Konferencia és Kiállítás*, Visegrád, 2018.
- [30] Y. Luo, Y. Shi, W. Li és N. Cai, „Synchronous enhancement of H₂O/CO₂ co-electrolysis and methanation for efficient one-step power-to-methane,” *Energy Conversion and Management*, 165, pp. 127-136, 2018.
- [31] L. Wang, Pérez-Fortes, M. H. M., S. Diethelm, J. Van Herle és F. Maréchal, „Optimal design of solidoxide electrolyzer based power-to-methane systems: A comprehensive comparison between steam electrolysis and co-electrolysis,” *Applied Energy*, 211, pp. 1060-1079, 2018.
- [32] B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, F. Popp, P. Grima és Z. Csédő, „Biomethane production monitoring and data analysis based on the practical operation experiences of an innovative power-to-gas benchscale prototype,” *Journal of Agricultural Sciences*, 150, pp. 399-410, 2018.
- [33] Német Energia Ügynökség: Power to Gas Stratégiaplatform, „Audi e-gas Projekt,” 2019. [Online]. Available: <http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/audi-e-gas-projekt/>. [Hozzáférés dátuma: 02 03 2019].
- [34] Európai Bizottság, „Final Report Summary – HELMETH (Integrated High-Temperature Electrolysis and Methanation for Effective Power to Gas Conversion),” 2018. [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/185716/reporting/en>. [Hozzáférés dátuma: 02 03 2019].
- [35] Kalsruhe Institute of Technology, „Power-to-Gas with High Efficiency,” 2018. [Online]. Available: http://www.helmeth.eu/images/joomlapiates/documents/PI_2018_009_Power%20to%20Gas%20with%20High%20Efficiency.pdf. [Hozzáférés dátuma: 04 03 2019].
- [36] Viessmann Werke GmbH & Co. KG, „About Viessmann,” 2019. [Online]. Available: <http://www.viessmann.com/com/en/company.html>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [37] IdE gGmbH, „BIOPOWER2GAS,” 2019. [Online]. Available: <http://www.biopower2gas.de/projekt/>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [38] Viessmann Werke GmbH & Co. KG, „MicrobEnergy GmbH,” 2019. [Online]. Available: <https://www.viessmann.de/de/kommunen/microbenergy.html>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [39] Electrochaea.dk ApS, „About the project,” 2019. [Online]. Available: <http://biocat-project.com/about-the-project/>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [40] Electrochaea GmbH, „How the technology works,” 2019. [Online]. Available: <http://www.electrochaea.com/technology/>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [41] Electrochaea GmbH, „Partners,” 2019. [Online]. Available: <http://www.electrochaea.com/partners/>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [42] RAG Austria AG, „Underground Sun Conversion Research Project,” 2017. [Online]. Available: https://www.underground-sun-conversion.at/fileadmin/bilder/SUNCONVERSION/Presseartikel/Press_information_Underground_Sun_Conversion__ENG_2-3-2017_FINAL.pdf. [Hozzáférés dátuma: 04 03 2019].
- [43] RAG Austria AG, „Underground Sun Conversion: Renewable gas produced to store solar and wind power,” 2018. [Online]. Available: https://www.rag-austria.at/fileadmin/bilder/0_NEU_RAG_Austria_AG/Unternehmen/sunconversion_broschuere_engl_180907_fin.pdf. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [44] R. A. Kerin, P. R. Varadarajan és R. A. Peterson, „First-Mover Advantage: A Synthesis, Conceptual Framework, and Research Propositions,” *Journal of Marketing*, 56, pp. 33-52, 1992.

A digitális know-how fejlesztés lehetőségei egy power-to-gas üzem esetében

Sára Zoltán

igazgatósági tag, Power-to-Gas Hungary Kft.

Bár az energetikai szektor átalakulásának is egyik hajtóereje a digitális megoldások fejlesztése és alkalmazása, a power-to-gas témájú szakirodalom még nem foglalkozik ezzel a kérdéskörrel. Mivel a gyorsan változó, technológia-intenzív környezetben a digitális alapokon nyugvó innovációmenedzsment, tudásmenedzsment és szervezeti tanulás az eredményességre és a hatékonyságra is pozitív hatással lehet, a szerző rávilágít a megoldások power-to-gas iparágban történő alkalmazásának relevanciájára. Továbbá, a Power-to-Gas Hungary Kft. digitális platformjának modellje arra mutat rá, hogy a digitális know-how fejlesztő és hasznosító megoldások integrálásával lehetséges a diszruptív technológiai innovációról szóló, jelenleg még kevésbé kiterjedt tudásbázis gyors bővítése.

*

Although development and implementation of digital solutions are one of main drivers of transformation of energy sector, there is little evidence in the power-to-gas scientific literature regarding this research area, yet. As digitally supported innovation management, knowledge management and organizational learning are key factors for efficiency and effectiveness in a turbulent and technology-intensive environment, the author shows the relevance of using these technologies in the power-to-gas industry. Moreover, based on the digital platform model of Power-to-Gas Hungary Kft. the author concluded that integration of digital know-how development and utilization solutions could lead to rapid expansion of the current knowledge base regarding disruptive technological innovation.

A digitális megoldásokkal támogatott innovációmenedzsment [1] és tudásmenedzsment [2] mára nemcsak lehetőség, hanem kényszer is egyes szektorokban, mivel a gyors és/vagy radikális iparági változások a vállalatokat is szervezeti változásra kényszerítik [3], és ezeknek az innovációs képességek, illetve az azt megalapozó tudástőke fejlesztését kell célozniuk [4, 5, 6]. Ilyen iparág az energetika is, melynek változását a fenntarthatóság, megújuló energiák, decentralizáció trendjén túl a digitális megoldások fejlesztése és alkalmazása is jellemzi (például okos mérők, közösségi megújuló kiserőművek összehangolása) [7, 4]. Bár a power-to-gas iparág áttekintése alapján is azonosítható olyan törekvés (a Viessmann Csoporthoz tartozó Microbenergy-nél), mely a power-to-gas technológia iparági szintű implementációját IoT megoldásokkal szeretné támogatni [8], a szakirodalom még nem foglalkozik a digitális megoldások alkalmazásával a power-to-gas iparágban (lásd például Blanco és Faaij [9], Baleira [10], Ghaib [11], Götz [12], Schiebahn [13] és társaik power-to-gas témájú áttekintő cikkeit, melyekben a „digital”, a „digitization”, az „IT”, az „information-technology” vagy ezek variációi egyszer sem jelennek meg). E kutatási szakadék áthidalásában a szerző a digitális know-how fejlesztés relevanciáját

ismerteti a power-to-gas iparágban, mivel a képességfejlesztés információtechnológiai támogatása a hatékonyságra és az eredményességre is pozitív hatással van [14, 15, 16, 17]. A szerző ezután bemutatja Power-to-Gas Hungary Kft. digitális know-how fejlesztő platformját, melynek fejlesztését részben a versenytársak digitális fejlesztéseire adott válasz, részben a következőkben bemutatott szakirodalmi háttér indokolta.

Szakirodalmi háttér

Az eredményesség, az innováció és a tudás egymásra épülése

Az innováció a hosszú távú eredményesség és a növekedés feltétele [3, 18, 19], mivel az innováció külső környezeti változásokra reagál [20], változásokat generál a szervezetben [21], illetve haladást és fejlődést is jelent [22]. Mivel az innováció egyik inputtényezője a tudás [22, 23], ezért a tudásmenedzsment, azaz a tudások felderítése, megosztása, új tudások becsatornázása és létrehozása is kritikus az eredményességben [24, 25, 26]. A tudásmenedzsment stratégiai jelentőségű feladat, mivel Grant (1996) alapján a szervezetbe integrált tudástőke és a tacit tudás az, amely az innováció alapja és a tartós versenyelőny forrása is lehet, mivel a versenytársak által ez a legkevésbé másolható erőforrás. Nonaka és Takeuchi (1995) szerint szintén tudásteremtés szükséges az innovációhoz. Tudásspírál modelljük szerint a szervezeti tudások a szocializáció, internalizáció, externalizáció és kombináció folyamatában terjednek, explicitből tacitá válnak, tacitból explicitté válnak, és új tudások is keletkeznek.

Digitális innovációmenedzsment

A „digitalizáció” kifejezés olyan folyamatok, tartalmak, objektumok digitálissá válását jelenti, melyek korábban (elsősorban vagy teljesen) fizikaiak vagy analógok voltak [27]. A digitalizációs trend az innovációmenedzsment tartalmának újraértelmezését is szükségessé teszi. Nambisan és társai (2017) szerint napjainkban már digitális innovációmenedzsmentre van szükség. Az innovációmenedzsment változására azért van szükség, mert fel lazultak a strukturális, időbeli és térbeli határok és az innovációs folyamatok decentralizálttá, többszereplőssé, hálózatosá váltak [1]. Ez az „open innovation” (nyitott innováció) koncepció szerint az innovációs folyamatok átnyúlását jelenti a szervezeti határokon, a beszállítókat és akár a fogyasztókat is bevonva a tevékenységekbe [28]. A digitális innovációmenedzsment így a következő elemeket tartalmazza:

1. a problémák és megoldások (piaci igények és technológiák) gyors, dinamikus párosítása
2. a folyamatban résztvevők innovációról szóló közös értelmezésének kialakítása
3. a technológiai infrastruktúra elemzése és fejlesztése
4. az első három pont összehangolása. [1]

A digitális innovációmenedzsment azonban a kifejezések más összefüggésében is értelmezhető, mivel Fichman és társai (2014) a digitális innováció fogalmát is definiálják. Ez a szerzők szerint egy olyan terméket, folyamatot vagy üzleti modellt jelöl, mely újdonságtartalommal bír, az adoptálók részéről szignifikáns változást igényel egy IT megoldás által jön létre vagy egy IT megoldásban testesül meg [27]. A digitalizációs trend tehát az innováció vezetési-szervezési aspektusainak növekvő komplexitását okozza (hálózatosodás, gyorsabb és rugalmasabb folyamatok szükségessége), de az innováció menedzsmentjét az új technológiai megoldások fejlesztése és/vagy alkalmazása támogatja.

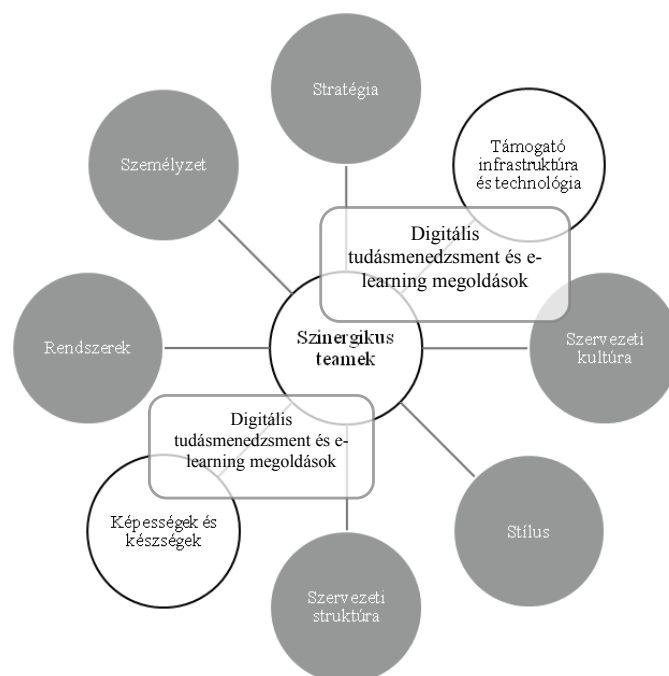
Digitális tudásmenedzsment

A tudásmenedzsment új tudások becsatornázását, létrehozását, a meglévő tudások rendszerezését, megosztását és hasznosítását jelenti a szervezeti teljesítmény növelése érdekében [26]. Egy digitális tudásmenedzsment rendszer célja e folyamatok támogatása egy olyan információs rendszerként, mely lehetővé teszi a tudás létrehozását, kodifikációját, tárolását, visszakeresését, felhasználását [29]. A szakirodalom arra is rámutat, hogy a tudásmenedzsment nemcsak az innovációs képességek fejlesztését, hanem a működési hatékonyság növelését is támogathatja [2, 5, 30]. Ahogy ezt a digitális innovációmenedzsment koncepciójánál is láthattuk, a digitális tudásmenedzsment is egyre inkább a hálózatosodásról, az egyének közötti tudásmegosztásról és tanulásról szól [31, 32]. Zhang és Venkatesh (2017) alapján a felhasználók által leginkább preferált tudásmenedzsment funkciók a következők: tudásanyag, kérdés vagy ötlet posztolása; kommentelés; keresés; tudástartalom értékelése [33]. Ezeken túl azonban tudásmenedzsment rendszerek funkcionalitása lefedheti a külső tudások felderítését és becsatornázását, a belső tudások áramoltatását rendszerek között, a vezetői döntéstámogatást és a képzés-fejlesztést is [5].

Digitális eszközök a szervezeti tanulásban

A külső környezeti változás miatt bizonyos szervezeti jellemzők különböző mértékű megváltozására van szükség a teljesítmény javítása vagy fenntartása érdekében [34, 35]. A tanuló szervezet koncepciója a folyamatosan változó környezet kihívásaira válaszul született, melynek lényege, hogy a vállalat tanulási képességéből és sebességéből akár versenyelőny is származhat [36]. A tanuló szervezet öt alapelve épül, mely a rendszergondolkodás, a gondolati mintákra való reflektálás, a személyes kiválóság, a közös jövőkép és a csoportos tanulás [36]. A stratégiai és szervezeti jellemzők összehangolását célzó 7-S modell (Strategy, Structure, Systems, Shared values, Skills, Staff, Style) továbbfejlesztett 9-S változatában Senge csoportos tanulás alapelve (Synergistic teams) és az támogató információ-technológiai rendszer (Support) is megjelenik [37, 38]. Összhangban a digitális innovációmenedzsment és digitális tudásmenedzsment szakirodalmával, e modellből az látható, hogy hálózatosodás, tudásmegosztás és a csoportos tanulás a kulcs a versenyképesség megőrzéséhez és fejlesztéséhez. Arra is fontos rámutatni, hogy a friss szakirodalmi eredmények alapján a kimagasló innovációs teljesítmény és a radikális innováció gyakran nem sokszereplős együttműködés eredménye, hanem egy innovátor egyéni tanulása, tudáskeresése és egyedi ötleté [39, 40]. Következésképp nem lehet megfedkezni az e-learning rendszerek szerepéről sem, melyek azon túl, hogy a tananyagok rugalmas elérését biztosítják térbeli és időbeli dimenziókban az egyének számára, célorientáltabb és proaktívabb tanulói magatartással jár-

nak [41]. A digitális tudásmenedzsment folyamatát a 9-S rendszerben értelmezve az alábbi ábra illusztrálja:



1. ábra. A 9-S modell digitális know-how fejlesztési és tanulási aspektusa (van Waveren et al., 2002 és Balaton et al., 2010 alapján, kiegészítve)

Technológiai know-how a power-to-gas iparágban

A szakirodalmi áttekintés alapján a power-to-gas iparágban zajló kutatások egy része a technológia operatív részleteinek javítására fókuszál, másik része rendszerszintű vizsgálatokkal foglalkozik [42]. Mivel a radikális vagy diszruptív technológiai innováció új, eddig ismeretlen területekre vezet [43], a technológiai know-how fejlesztés is kiemelt feladat kell, hogy legyen a power-to-gas iparágban. A szakirodalmi áttekintés alapján, operatív szinten a know-how fejlesztés az alábbi területeket érintheti [42]: magas hőmérsékletű elektrolízis [11], in-situ hidrogén betáplálás a biogáz feljavítás során [44], katalizátorok teljesítménye [45], biokatalizátorok táplálása [46], a megfelelő reaktorfelépítés [12] és egyéb reaktorjellemzők [47]. Rendszerszinten a power-to-gas üzemek telephelyeinek kiválasztása (a magas szén-dioxid szükséglet miatt) és méretezése megválaszolandó kérdés [9, 48], de kutatott terület a hálózatkiegyenlítő potenciál kiaknázása [49] és a technológia szennyvíztisztító telepeken történő alkalmazása is [50]. Az energia szektorban szerzett empirikus tapasztalatok azt mutatják, hogy a know-how fejlesztés a működési hatékonyság, működésbiztonság területén is kritikus feladat lehet [51, 52].

A Power-to-Gas Hungary Kft. K+F+I platformja

Az iparági tapasztalatokat, a szakirodalmi háttérrel és a Power-to-Gas Hungary Kft. fejlesztési és üzemeltetési tevékenységét összevetve egy olyan K+F+I platform jött létre, melynek átfogó célja a power-to-gas technológiáról, elsősorban a diszruptív technológiai innovációt jelentő saját biometanizációs technológiáról szóló [53, 46], jelenleg még korlátozott méretű tudásbázis építése és hasznosítása. A K+F+I platform négy modulból és az azokat integráló keretrendszerből épül fel.

Az *Integrált Power-to-Gas Technológiai K+F+I Platform* célja olyan általános keretrendszer funkciók biztosítása, melyeknek minden modulban elérhetőnek kell lenniük: keresés, chat, értesítések, felhasználói adminisztráció, súgó. Továbbá, a keretrendszer hozza létre az integrációt az egyes modulok között, lehetővé téve akár az automatikus know-how áramlást is egyik modulból a másikba.

A *Digitális Know-How Fejlesztés* modul célja, hogy strukturált és együttműködés alapú tudásfejlesztést tegyen lehetővé három témában (power-to-gas kutatás, üzemeltetés és technológia). A modulban a Power-to-Gas Hungary Kft. munkatársak empirikus tapasztalataik alapján tudásanyagokat hozhatnak létre, melynek kidolgozásához más felhasználókat hívhatnak meg. A „közreműködő” felhasználók (privát tudástartalom esetén meghívás alapján, publikus tudástartalom esetén bárki) a tudásanyaghoz kommenteket fűzhetnek, illetve a „szerkesztő” felhasználók (csak meghívás és felhatalmazás alapján) szerkeszthetik is a feltöltött tudásanyagát. Amennyiben a kötelező attribútumok kitöltésre kerülnek, a rendszer lehetővé teszi a feltöltő számára, hogy kezdeményezze a tudásanyag publikálását. Ezt a kezdeményezést a moderátorok egyike hagyhatja jóvá. A jóváhagyás után a tudásanyag átkerül az e-learning modulba és e-learning kurzus jön létre belőle, melyhez az adminisztrátor később akár tesztet is tölthet fel.

A *Digitális Tudásmegosztás és E-learning* modul részben az előbbi publikálási folyamatról kapta a nevét, részben pedig klaszikus e-learning funkcionalitásáról. A modulban angol és magyar nyelvű tananyagok érhetők el a prototípus felépítésére, működésére, üzemeltetési és tesztelési sajátosságaira vonatkozóan; illetve minden tananyaghoz teszt is tartozik. A modul a Power-to-Gas Hungary Kft. stratégiája alapján kritikus funkciókat biztosít, mivel az üzemlétesítések során az erőművi szakértők képzése az innovatív technológia sajátosságairól, majd az üzemeltetés során a jóváhagyott technológiai know-how megtalálása (címkék és kategóriák alapján, vagy kulcsszavas kereséssel) hatékonyan csak az e-learning rendszerrel megvalósítható.

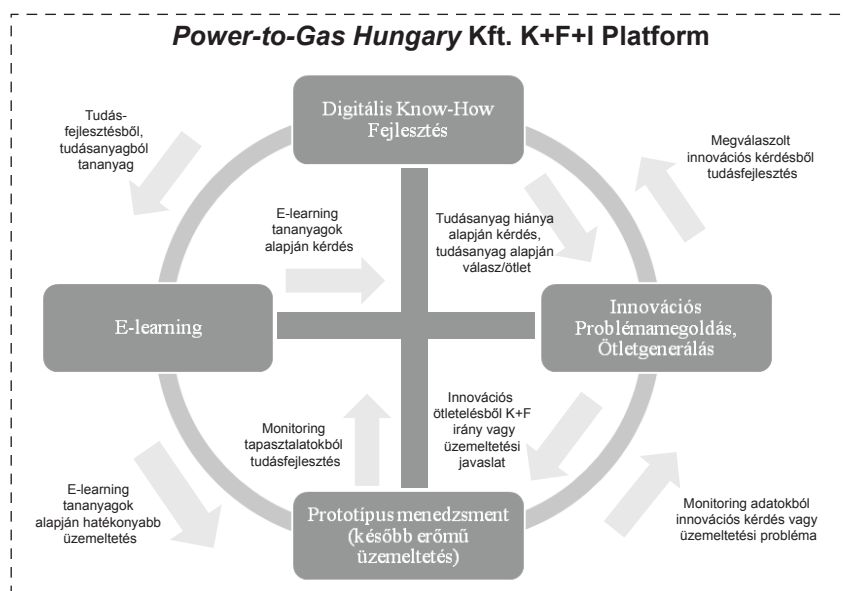
Az *Innovációs Problémamegoldás* modul célja, hogy lehetővé tegye az üzemeltetéssel vagy kutatás-fejlesztéssel összefüggő kérdések rögzítését és közösségi ötletelés alapján azok megválaszolását. A modul elsődlegesen a radikális technológiai innováció következtében – a tudásanyagokkal vagy e-learning tananyagokkal – még le nem fedett problémák és lehetséges megoldások feltárására szolgál, a digitális know-how fejlesztés logikájához hasonló módon. Eszerint a felhasználók új kérdéseket/témákat hozhatnak létre, más felhasználókat hívhatnak meg az ötletelésbe, vagy publikus kérdés/téma esetén felhasználó láthatja azt és ötletet küldhet be hozzá. A felhasználók egymás ötleteihez kommentelhetnek, kedvelhetik az ötleteket és hozzászólásokat, továbbá egymáshoz képest is értékelhetik az ötleteket (1-5 csillaggal). A kérdés feltöltőjének lehetősége van kiválasztani a „győztes” ötletet és ezzel lezárni a kérdést. Ez a folyamat csak a Power-to-Gas Hungary Kft. munkatársakra vonatkozik, ugyanakkor a modul oldalágaként kifejlesztésre került egy Open Innovation felület is. Az Open Innovation felületen egyes innovációs témákban való ötletelésbe külső felhasználók

is csatlakozhatnak, anélkül, hogy bizalmas vállalati adatokat láthatnának. Az Open Innovation részben a külső szereplők csak a probléma megoldásában vehetnek részt, innovációs kérdést ők nem küldhetnek be. A végső „győztest” is a kérdést létrehozó moderátor (a Power-to-Gas Hungary Kft. egy vezetője) választja ki.

A *Prototípus menedzsment* modul célja a prototípus két kulcsfontosságú eszközének távoli nyomon követése és irányítása, a monitoring adatok vizualizálása és a készletbeszerzés támogatása. A modul e funkciói lehetővé teszik a későbbi erőművi üzemeltetés támogatását is. A modulban a gázanalizátor és a vezérlőegység irányítási felülete érhető el, a gázanalizátor esetében pedig a termékgáz aktuális és historikus adatai is vizualizálásra kerülnek. A reaktorműködés monitoring adatai táblázatos formában kereshetők, illetve a dátum és adattípus (például pH érték, optikai sűrűség, konverziós ráta) szerint paraméterezhető diagram segíti a trendek azonosítását, vagy a kiugró értékek alapján – az Innovációs Problémamegoldás modulban rögzíthető – kérdés meghatározását. Továbbá, a készletmenedzsment rész tárolja a prototípus működéséhez szükséges anyagok alapadatait, lehetővé teszi új beszerzés vagy mérés rögzítését. Ezek alapján a rendszer kiszámolja a minimum készletezési szint elérését és értesítést küld az érintett felhasználónak a beszerzés szükségességéről. A kalkulált és tényleges fogyasztás egy diagramon összehasonlításra is kerül, mely a rögzített fogyasztási ütem módosításához vagy újabb innovációs kérdéshez vezethet. A prototípus üzemeltetési tapasztalatai (például a monitoring adatok vagy a készletadatok) újabb digitális know-how fejlesztés alapját képezhetik.

Konklúzió

A power-to-gas iparág és a Power-to-Gas Hungary Kft. tevékenységei alapján a digitális know-how fejlesztő megoldások alkalmazása az innovatív technológiáról szóló tudásbázis bővítése érdekében indokolt. A Power-to-Gas Hungary Kft. digitális know-how fejlesztésre és hasznosításra szolgáló K+F+I platformját a 2. ábra illusztrálja. Az ábrából látható, hogy a K+F+I platform lehetőséget biztosít a technológiai know-how egyes területek közötti áramlására és hasznosítására akár a K+F+I, akár később az erőművi üzemeltetés során is.



2. ábra. Digitális know-how fejlesztés, áramlás és hasznosítás a Power-to-Gas Hungary Kft. K+F+I platformjával

A Power-to-Gas Hungary Kft. platformjának modellje arra is rámutat, hogy tudásmenedzsment, innováció- és ötletmenedzsment, az e-learning és a tevékenységspecifikus (prototípus menedzsment) digitális megoldások integrálásával olyan rendszer jöhet létre, mely képes a diszruptív technológiai innovációról szóló, jelenleg még kevésbé kiterjedt tudásbázis gyors bővítésére, támogatva új K+F+I irányok kijelölését és az üzemeltetési hatékonyság javítását is.

Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet a Power-to-Gas Hungary Kft. befektetőinek, a Smart Future Lab Zrt. / MVM Csoport, illetve a Hiventures Zrt. / MFB Csoport képviselőinek, valamint a Vértesi Erőmű Zrt.-nek a K+F+I tevékenységek megvalósításának támogatásáért.

Irodalmi hivatkozások

- [1] S. Nambisan, K. Lyytinen, A. Majchrzak és M. Song, „Digital Innovation Management: Reinventing Innovation Management Research in a Digital World,” *MIS Quarterly*, 41 (1), pp. 223-238. DOI: 0.25300/misq/2017/41:1.03, 2017.
- [2] I. Nonaka, M. Kodama, A. Hirose és F. Kohlbacher, „Dynamic fractal organizations for promoting knowledge-based transformation: A new paradigm for organizational theory,” *European Management Journal*, 32 (1), p. 137–146. DOI: 10.1016/j.emj.2013.02.003, 2014.
- [3] D. Teece, „Dynamic capabilities and entrepreneurial management in large organizations: Toward a theory of the (entrepreneurial) firm,” *European Economic Review*, 86, p. 202–216, 2016.
- [4] Z. Csedő, M. Zavarkó és Z. Sára, „A vállalati innováció által indukált szervezeti változások a magyar energiaszektorban,” *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 49 (2), pp. 53-62. DOI: 10.14267/VEZTUD.2018.02.06, 2018.
- [5] Z. Csedő, M. Zavarkó és Z. Sára, „Tudásmenedzsment és stratégiai kettős képesség: felsővezetői döntések elemzése az innovációs stratégia megvalósítása során,” *Vezetéstudomány*, 50 (3), pp. 36-49. DOI: 10.14267/VEZTUD.2019.03.04, 2019.
- [6] M. Zavarkó és Z. Csedő, „A digitalizációs stratégiai célok megvalósításának szervezeti változással összefüggő kihívásai az egyedi IT fejlesztési projektek során,” Budapest, 2018.
- [7] B. B. Alagoz és A. Kaygusuz, „Dynamic energy pricing by closed-loop fractional-order PI control system and energy balancing in smart grid energy markets,” *Transactions of the Institute of Measurement & Control*, 38 (5), pp. 565-578, 2016.
- [8] Viessmann Werke GmbH & Co. KG, „MicroEnergy GmbH,” 2019. [Online]. Available: <https://www.viessmann.de/de/kommunen/microenergy.html>. [Hozzáférés dátuma: 03 03 2019].
- [9] H. Blanco és A. Faaij, „A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 1049-1086, 2018.
- [10] M. Bailera, P. Lisbona, L. M. Romeo és S. Espatolero, „Power to Gas projects review: Lab, pilot and demo plants for storing renewable energy and CO₂,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, pp. 292-312, 2017.
- [11] K. Ghaib és F. Z. Ben-Fares, „Power-to-Methane: A state-of-the-art review,” *Renewable and Sustainable Reviews*, 81, pp. 433-446, 2018.
- [12] M. Götz, J. Lefebvre, F. Mörs, A. McDaniel Koch, F. Graf, S. Bajohr, R. Reimert és T. Kolb, „Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review,” *Renewable Energy*, 85, pp. 1371-1390, 2016.
- [13] S. Schiebahn, T. Grube, M. Robinius, V. Tietze, B. Kumar és D. Stolten, „Power to gas: Technological overview, systems analysis and economic assessment for a case study in Germany,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 40, pp. 4285-4294, 2015.
- [14] L. Hortoványi és A. Ferincz, „The impact of ICT on learning on-the-job,” *Learning organization: International Journal of Critical Studies in Organizational Learning*, 22 (1), pp. 2–13. DOI: 10.1108/tlo-06-2014-0032, 2015.
- [15] J. Engelbrecht, K. A. Johnston és V. Hooper, „The influence of business managers' IT competence on IT project success,” *International Journal of Project Management*, 35, p. 994–1005. DOI: 10.1016/j.ijproman.2017.04.016, 2017.
- [16] T. Ravichandran, „Exploring the relationships between IT competence, innovation capacity and organizational agility,” *Journal of Strategic Information Systems*, 27, p. 22–42. DOI: 10.1016/j.jsis.2017.07.002, 2018.
- [17] K. Trantopoulos, G. von Krogh, M. W. Wallin és M. Woerter, „External knowledge and information technology: Implications for process innovation performance,” *MIS Quarterly*, 41 (1), pp. 287-A8. DOI: 10.25300/MISQ/2017/41.1.15, 2017.
- [18] L. Hortoványi és K. Balaton, „A versenyképesség és az innováció vállalati szintű vizsgálata,” *Vezetéstudomány / Budapest Management Review* 47 (12), pp. 38-45. DOI: 10.14267/VEZTUD.2016.12.04., 2016.
- [19] M. Dobák, L. Hortoványi és Z. R. Szabó, „A sikeres növekedés és innováció feltételei,” *Vezetéstudomány*, 43 (12), pp. 40-48, 2012.
- [20] A. Chikán, Vállalatgazdaságtan, Budapest: Aula Kiadó, 2008.
- [21] Z. Csedő, *Szervezeti változás és változásvezetés a folyamatos differenciálódás és integráció tükrében: az innovatív gyógyszeripar példája*, Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, 2006.
- [22] J. Fejes, „Innovációs kalandozások az elmélettől a stratégiáig/Innovation adventuring from theory to strategy,” *Vezetéstudomány/Budapest Management Review*, 46 (6), pp. 58-69, 2015.
- [23] R. M. Grant, „Prospering in Dynamically-Competitive Environments: Organizational Capabilities as Knowledge Integration,” *Organization Science*, 7 (4), p. 375–387, 1996.
- [24] L. Hortoványi, „The Dynamic Nature of Competitive Advantage of the Firm,” *Advances in Economics and Business*, 4 (11), p. 624–629. DOI: 10.13189/aeb.2016.041109, 2016.
- [25] I. Nonaka és H. Takeuchi, *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford: Oxford University Press, 1995.
- [26] J. P. Girard és J. L. Girard, „Defining knowledge management: Toward an applied compendium,” *Online Journal of Applied Knowledge Management*, pp. 1057–1064. DOI: 10.1016/j.energy.2015.06.047, 2015.
- [27] R. G. Fichman, B. L. Dos Santos és Z. E. Zheng, „Digital Innovation as a Fundamental and Powerful Concept in the Information Systems Curriculum,” *MIS Quarterly*, 38 (2), pp. 329-353. DOI: 10.25300/MISQ/2014/38.2.01, 2014.
- [28] H. W. Chesbrough, *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology.*, Boston: HBS Press, 2003.

- [29] M. Alavi és D. E. Leidner, „Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues,” *MIS Quarterly*, 25 (1), pp. 107-136. DOI: 10.2307/3250961, 2001.
- [30] M. Zavarkó és Z. Csödő, „Digitalization opportunities of corporate knowledge in order to increase innovation ambitions and operational efficiency,” in *Central and East European Management Development Association*, Budapest, 2018.
- [31] Q. Cao, M. A. Thompson és J. Triche, „Investigating the role of business processes and knowledge management systems on performance: A multi-case study approach,” *International Journal of Production Research*, 51 (18), pp. 5565-5575. DOI: 10.1080/00207543.2013.789145, 2017.
- [32] P. Fehér, „Tudás és menedzsment – Tudásmenedzsment. 7. európai tudásmenedzsment-konferencia: Budapest,” *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 38 (7-8), pp. 2-5, 2007.
- [33] X. Zhang és V. Venkatesh, „A nomological network of knowledge management system use: antecedents and consequences,” *MIS Quarterly*, 41 (4), pp. 1275-1306. DOI: 10.25300/MISQ/2017/41.4.12, 2017.
- [34] Z. Csödő, „Útmutató a sikeres változáshoz: a szervezeti változás típusai,” *Kórház*, 14 (9), pp. 56-57, 2007.
- [35] Z. Csödő, „Ha már átalakítunk: mit és hogyan változtassunk,” *Kórház*, 14 (4), pp. 18-19, 2007.
- [36] P. M. Senge, *The fifth discipline. The art and practice of the learning organization.*, London: Century Business, 1990.
- [37] C. C. van Waveren, A. Bouwer és I. F. Esterhuizen, „Are we a learning organisation? An assessment model for continuous improvement,” *SA Journal of Industrial Engineering*, 13 (2), pp. 33-52, 2002.
- [38] K. Balaton, L. Hortoványi, E. Incze, M. Lackzó, Z. R. Szabó és E. Tari, *Stratégiai menedzsment*, Budapest: Aula Kiadó, 2009.
- [39] R. J. Funk, „Making the Most of Where You Are: Geography, Networks, and Innovation in Organizations,” *Academy of Management Journal*, 57 (1), p. 193-222. DOI: 10.5465/amj.2012.0585, 2014.
- [40] H. Garriga, G. von Krogh és S. Spaeth, „How constraints and knowledge impact open innovation,” *Strategic Management Journal*, 34 (9), p. 1134-1144. DOI: 10.1002/smj.2049, 2013.
- [41] M. A. Uppal, S. Ali és S. R. Gulliver, „Factors determining e-learning service quality,” *British Journal of Educational Technology*, 49 (3), pp. 412-426, 2018.
- [42] M. Zavarkó, Z. Csödő és B. Sinóros-Szabó, „Dynamic Co-Capabilities in Innovation Management: the Case of Power-to-Gas Technology Development and Implementation,” *Journal of Energy Technologies and Policy*, 8 (8), pp. 41-52, 2018.
- [43] C. M. Christensen, M. E. Raynor és R. McDonald, „What Is Disruptive Innovation?,” *Harvard Business Review*, December, pp. 44-53, 2015.
- [44] G. Lovato, M. Alvarado-Morales, A. Kovalovszki, M. Peprah, P. G. Kougias, J. A. D. Rodrigues és I. Angelikadi, „In-situ biogas upgrading process: Modeling and simulations aspects,” *Bioresource Technology*, 245, pp. 332-341, 2017.
- [45] M. C. Bacariza, M. Maleval, I. Graca, J. M. Lopes és C. Henriques, „Power-to-methane over Ni/zeolites: Influence of the framework type,” *Microporous and Mesoporous Materials*, 274, pp. 102-112, 2018.
- [46] B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, F. Popp, P. Grima és Z. Csödő, „Biomethane production monitoring and data analysis based on the practical operation experiences of an innovative power-to-gas benchscale prototype,” *Journal of Agricultural Sciences*, 150, pp. 399-410, 2018.
- [47] E. Inkeri, T. Tynjälä, A. Laari és T. Hyppänen, „Dynamic one-dimensional model for biological methanation in a stirred tank reactor,” *Applied Energy*, 209, pp. 95-107, 2018.
- [48] B. Simonis és M. Newborough, „Sizing and operating power-to-gas systems to absorb excess renewable electricity,” *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, pp. 21635-21647, 2017.
- [49] T. Zoss, E. Dace és D. Blumberg, „Modeling a power-to-renewable methane system for an assessment of power grid balancing options in the Baltic States’ region,” *Applied Energy*, 170, pp. 278-285, 2016.
- [50] T. Patterson, S. Savvas, A. Chong, I. Law, R. Dinsdale és S. Esteves, „Integration of Power to Methane in a waste water treatment plant – A feasibility study,” *Biosource Technology*, 245, pp. 1049-1057, 2017.
- [51] Z. Bertalan, K. Nagy, Z. Csödő és Á. Tamus, „Innovations in Operational Risk Management and Business Continuity Planning Methodologies of Transmission System Operators: Implications of the Operational Security Network Code,” *Journal of Energy Technologies and Policy*, 6 (29), pp. 12-17, 2016.
- [52] Z. Bertalan, Z. Csödő és Á. Tamus, „Knowledge Management Strategies to Support Operational Security Requirements of Transmission System Operators of Electricity: the case of MAVIR,” *Information and Knowledge Management*, 3 (10), pp. 56-64, 2013.
- [53] Z. Csödő, B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó és B. Sinóros-Szabó, „Biometánt előállító és hasznosító power-to-gas technológia műszaki és rendszerszintű fejlesztése,” in *„Hogyan tovább a klímatudatos jövő felé?” konferencia, 2018.11.26.*, Budapest, Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2018.



A hazai energiatárolás lehetőségei 2030-ig

Dr. Pintér Gábor¹, Dr. Birkner Zoltán², Hegedűsné dr. Baranyai Nóra¹, Dr. Zsiborács Henrik¹

¹ Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Megújuló Energiaforrások Módszertani Kutatócsoportja,
<https://theresresearch.wixsite.com/renewable-energy>

² Pannon Egyetem, Nagykanizsai Campus
 e-mail: pg@georgikon.hu.

Az időjárásfüggő megújuló energiaforrások felhasználásának terjedésével az energiatárolás egyre nagyobb hangsúlyt kap Földünkön, így Magyarországon is. Ma már nem az a kérdés, hogy szükséges-e a megtermelt villamos energia egy részét eltárolni, sokkal inkább az alkalmazandó tárolási technológia és a tárolókapacitás nagysága okoz dilemmát, melyre jelen cikkben keressük a választ.

*

Due to the significant increase in the use of variable renewable energy, energy storage is playing an increasing role. The question is not the need for energy storage, but how to choose the best technology in the storage market and determine the capacity of the storage system. We are looking for answers to these aspects in Hungary.

Európai háttér

A világ energiaellátásának fenntarthatóságát egyre jobban meghatározzák az időjárásfüggő megújuló energiaforrások, azaz a nap és a szélenergia („variable renewable energy sources” VRES) sikeres beintegrálása az energiaellátás rendszerébe. Az Európai Unió (EU) célja az üvegházhatású gázok jelentős csökkentése, emiatt az EU tagállamai kijelentették, hogy a következő évtizedekben erőteljesen növelni fogják a nap- és szélenergia részesedését („variable renewable energy” VRE) az energiamixben. A VRE kapacitások jelentős mértékű kiépítési szándéka miatt több fontos szempontot és hatást kell megemlíteni a villamosenergia-rendszerekre vonatkozóan [1–7]:

- A villamosenergia-rendszernek elég rugalmasnak kell lennie, hogy megbirkózzon az időjárásfüggő energiatermeléssel, valamint a piaci kínálat emelkedésével vagy csökkenésével.
- Elegendő tartalékkapacitás szükséges azokra az időszakokra, amikor az időjárási körülmények nem megfelelőek a VRE energiatermeléséhez.
- Kisebb VRE megléte esetén is a hálózatnak képesnek kell lenni a lokális hatásokat kezelni, mivel az egyre nagyobb mértékű kiépítettség a makroenergia-rendszerben egyre gyakrabban merül fel műszaki probléma.
- A nap- és szélenergia területi szétszórtsága és időjárásfüggő energiatermelése miatt a helyi villamos hálózaton ellenkező irányú energiaáramlás is történhet, amit helyileg kell megoldani. Ez például egy teljes transzformátorkörzet villamos paramétereinek optimalizálását is jelentheti [1–8].

Ezen nehézségekre jelenthet megoldást az energiatárolási technológiák egyre intenzívebb mértékű kiépítése az Európai Unióban, így Magyarországon is. A VRE villamosenergia-termelés térnyerésével mind nagyobb igény jelentkezik a rugalmas energiatároló megoldásokra a hazai és a regionális villamosenergia-piacokon egyaránt [2,8–16]. A villamosenergia-rendszer napi kiegyensúlyozása miatt nemzetközileg egyre nagyobb piaci érdeklődés mutatkozik a szí-

vattyús tározós rendszereken (PHS) túl az olvadt só, a lendkerék, a sűrített levegő, az akkumulátoros vagy a hidrogén alapú rendszerekre [17–21].

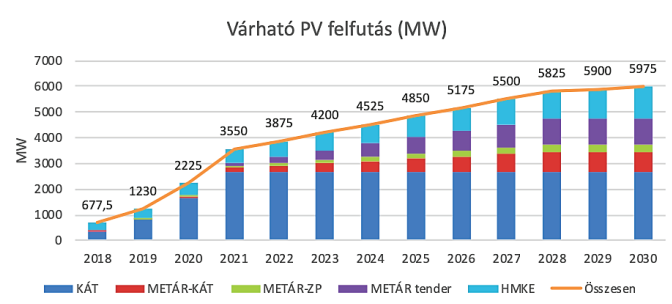
2016 végéig az állandó jelleggel kiépített energiatároló berendezések teljesítménye 156,4 GW-volt, amelyből a PHS 150 GW-ot képviselt. A többi energiatárolásra képes technológia összesen 6,4 GW-ot jelentett, amelyből az akkumulátoros berendezések részesedése 1,7 GW-volt [22–25].

A jelenlegi trendek azt mutatják, hogy a 2017-ben 4,67 TWh-ra becsült energiatárolási kapacitás 2030-ra várhatóan 6,6–15,7 TWh-ra fog növekedni, amelyből az Európai Unió részesedése várhatóan 20–40% lesz. A nem PHS alapú technológiák 2030-ig várhatóan 5,8–8,4 TWh-ra fognak növekedni a 2017-es 0,16 TWh értékről. Ennek két fő oka a PHS alapú technológiák környezetre gyakorolt hatása és az új erőművek létrehozásához szükséges területek EU-n belüli limitáltsága [17,25,26].

Napjainkban az energiamegtakarítási szabályok az Európai Unióban nem egységesek, viszont a VRE kapacitások növekedése új szabályozási és gazdasági környezetet fog ösztönözni a biztonságos villamosenergia-ellátás és az energiatárolási technológiák terjedésének érdekében [7,17].

Magyarország

Hazánkban a VRE-k közül az új szélerőmű engedélyek kiadásának hiányában a napenergia a meghatározó. Az hazai PV felfutást a Magyar Energia és Közműszabályozó Hivatal (MEKH) alapján az 1. ábra mutatja [27].



1. ábra. A napelemes rendszerek jövőbeli változásának előrejelzése a MEKH szerint [27]

Leolvasható, hogy 2030-ra már mintegy 6 GW napenergia rendszerbe történő integrálását feltételez a MEKH, ami a jelenlegi PV kapacitások legalább hatszorosa. Ezt a nagymértékű VRE növekményt a hazai szabályozó rendszernek is követnie kell, ami a magyar villamos energia rendszert (VER) nagy kihívások elé állítja a közeljövőben. A rendszeregyensúly fenntartása érdekében az átviteli rendszerirányítónak (TSO) több kiegyenlítő kapacitást kell beszereznie (a VRE arányának növekedésével párhuzamosan),

ami a hazai fosszilis (gáz és szénérőművek) esetleges leállításával egyre nehezebbé válna. A leírtak következménye, hogy a kínálat várhatóan csökken, míg a kereslet emelkedik, ami új szabályozói megoldások piacra lépését eredményezheti. A szerzők véleménye alapján az energiatárolás lesz az az „új megoldás” (már jelenleg is megtalálható a hazai VER szabályozásban) [6], ami a kiszoruló fosszilis erőművek helyett (és mellett) belép a szabályozási piacra.

Energiatárolás

A különféle energiatárolási technológiákat áttekintve (2. ábra) látható, hogy a piacon számtalan tárolási mód áll rendelkezésre. A szivattyús tárolás erőmű számít a szolgáltatás úttörőjének, mely a XX. század elején már nélkülözhetetlen volt a németországi Ruhr-vidéken. Egy szivattyús tárolás energiatároló létrehozása specifikus domborzati és jelentős helyigényű, éppen ezért hazai elterjedése nem várható. Ezzel szemben napjainkban egyre inkább teret hódítanak az elektrokémiai (akkumulátoros) és a kémiai tárolási technológiák. A szerzők véleménye alapján hazánkban az akkumulátoros és a hidrogén alapú technológiáknak van létjogosultsága. Jelen cikkben a hidrogén alapú technológiák közül kizárólag a Power to Gas (P2G) technológia került vizsgálatra.

Elérhető energiatárolási megoldások

Kémiai		Elektromos	
Ammónia	„Drop-in” üzemanyagok	Szuperkapacitás	Szupravezető mágnes ES (SMES)
Hidrogén	Metanol		
Szintetikus üzemanyagok	Szintetikus földgáz		

Elektrokémiai			Mechanikai	
Klasszikus akkumulátorok		Folyadék akkumulátorok	Hibrid szuperkapacitás	
Savas ólomakkumulátor	Li-ion	Vanádium redox	Adiabátikus sűrített levegős	Diabátikus sűrített levegős
Li-polimer	Li-S		Folyékony levegős	Lendkerék
Fém-levegős	Na-ion	Zn-Br	Szivattyús tárolás	
Na-NiCl ₂	Na-S	Zn-Fe		
Ni-Cd	Ni-MH			

Hő	
Látens hő	„Érezhető” hő
Termokémiai	

2. ábra. A villamos energia tárolására alkalmas technológiák csoportosítása [28]

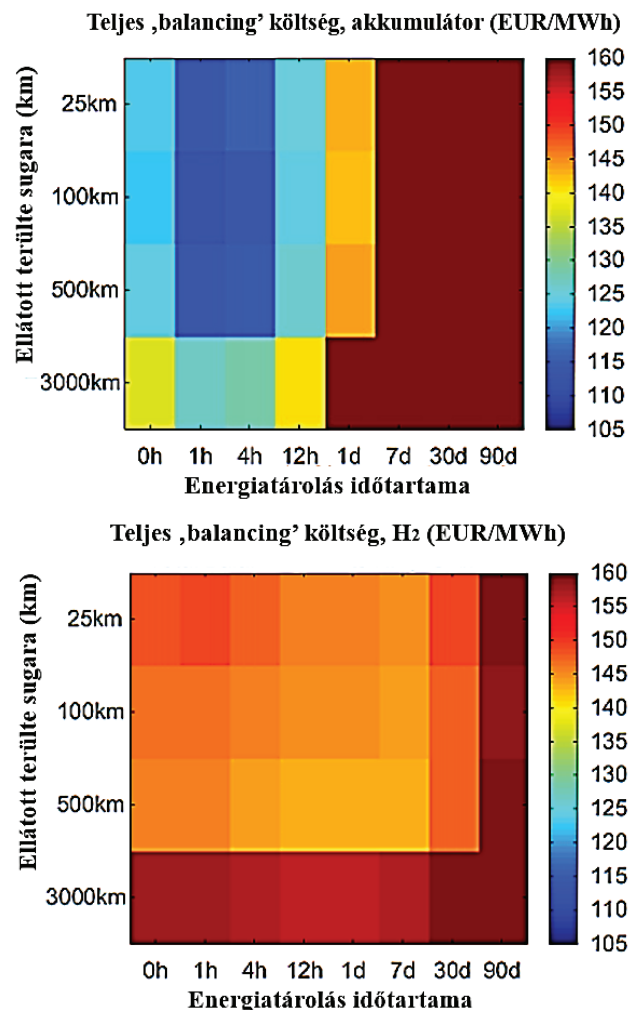
Szükséges energiatároló kapacitás Magyarországon

Szakirodalmi adatok alapján [29] az energiatárolás névleges teljesítménynek a VRE-k névleges teljesítményének 1-8%-ával kell meg egyeznie. Elfogadva azt a hazai rendszerirányító és villamosenergia szolgáltatók által hangoztatott érvet, miszerint a hazai VER szabályozó kapacitását a VRE integráció következtében növelni kell, az 1. ábrát és az ELMŰ-ÉMÁSZ Energiatároló Kft. [30] energiatárolási projektjének műszaki paramétereit (teljesítmény, MW és energiatárolás nagysága, MWh) alapul véve 2030-ban hazánkban mintegy 60-480 MW közti névleges teljesítményű tárolókapacitást kiépítése válik szükségessé. Mindez 37-293 MWh energia tárolási képesség rendszerbe integrálását jelentené az elkövetkezendő tíz évben. Megkerülhetetlen kérdés a technológia helyes kiválasztása. Egyáltalán nem mindegy ugyanis, hogy milyen technológiát alkalmazunk a tároláshoz, az eltérő technológiáknak eltérő előnyök és hátrányai lehetnek.

Az általunk prognosztizált energiatárolási és teljesítmény értékek telepítésére vonatkozó átlagos beruházási költség a 2030-as előrejelzések szerint közel azonos lesz. A folyadék akkumulátoros és a P2G tárolók tekintetében [31] 19-153 milliárd Ft, míg a klasszikus akkumulátorok alkalmazása esetében (Li-ion technológia) jelentősen csökkenthető lenne a beruházási költség: 7-58 milliárd Ft-ra a kiépü-

lő tárolókapacitás nagyságának függvényében. A Li-ion technológia népszerűsége viszont megkérdőjelezi a technológia tartósan alacsony árát az alapanyag ritkaföldfém jellegéből adódóan [32].

A jelenlegi technológiai színvonalon a hatásfokkülönbség kb. +30-40% az akkumulátor javára, viszont a P2G mellett szól, hogy ha az energiatárolás intervalluma 1 hétnél hosszabb, jobban megéri a telepítése, mint az akkumulátoroknak. [31,33] (3. ábra).



3. ábra. Energiatárolók technológiaspecifikus jellemzője [33] alapján

Következtetések

Az energiatárolás Magyarországon is megkerülhetetlen kérdés, napjainkban már a hagyományos hálózatfejlesztés alternatívája, így rövidtávon várható erőteljes terjedése.

A szerzők számításai alapján 2030-ra hazánkban mintegy 60-480 MW energiatároló kapacitás kiépítése várható, ami nem csak egy energiatárolási technológia elterjedését jelenti, hanem a felhasználási módoktól függően az alábbi technológiáknak lesz létjogosultsága:

- elektrokémiai (akkumulátoros) energiatárolás, mivel ma már telepítése vonzó, üzemeltetése egyre több országban gazdaságos (Németország, Spanyolország [15]), könnyen és viszonylag gyorsan (pár hét-hónap) telepíthető [34] és szinte azonnali a reakcióideje a hálózati igényekre [35].
- kémiai: hidrogén és P2G. Az utóbbi esetben végtermék a metán, amely a földgáz fő összetevője, ezért teljes mérték-

ben kompatibilis a meglévő földgáz infrastruktúrával, így gyakorlatilag a H₂-et korlátozás nélkül be lehet vezetni a földgázhálózatba. A technológia ezen felül lehetővé teszi a villamosenergia-rendszer összekapcsolását a hő- és üzemanyagpiaccal is [31].

A technológiák jellemzőiből adódóan az akkumulátoros energiatárolás technológiák a rövid időhorizontú, nagyszámú ciklus szükségessége esetén kerülnek majd alkalmazásra, míg a kémiai tárolókat elsősorban a kis ciklus, nagy időtáv tekintetében alkalmazzuk majd a jövőben.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalmi hivatkozások

- Rodríguez, R. A.; Becker, S.; Andresen, G. B.; Heide, D.; Greiner, M. Transmission needs across a fully renewable European power system. *Renew. Energy* 2014, 63, 467–476, doi:10.1016/J.RENENE.2013.10.005.
- Bertsch, J.; Growitsch, C.; Lorenczik, S.; Nagl, S. Flexibility in Europe's power sector – An additional requirement or an automatic complement? *Energy Econ.* 2016, 53, 118–131, doi:10.1016/J.ENERG.2014.10.022.
- Cho, A. Energy's tricky tradeoffs. *Science* 2010, 329, 786–7, doi:10.1126/science.329.5993.786.
- Jacobson, M. Z.; Delucchi, M. A. Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials. *Energy Policy* 2011, 39, 1154–1169, doi:10.1016/J.ENPOL.2010.11.040.
- Szabó Dániel Napelemek: energiatárolókat telepít a közműszolgáltató Available online: https://www.napi.hu/magyar_vallalatok/nap-elemek_energiataroloikat_telepit_a_kozmuszolgáltato.674558.html (accessed on Feb 20, 2019).
- Fülöp Miklós Működik az első hazai közcélú energiatároló egység Available online: <https://www.villanylap.hu/hirek/4904-mukodik-az-elso-hazai-kozcelu-energiatarolo-egység> (accessed on Feb 20, 2019).
- Cochran, J.; Bird, L.; Heeter, J.; Arent, D. J. Integrating Variable Renewable Energy in Electric Power Markets: Best Practices from International Experience; Oak Ridge and Springfield, United States of America, 2012;
- Blanco, H.; Faaij, A. A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 81, 1049–1086, doi:10.1016/J.RSER.2017.07.062.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). Exploration of High-Penetration Renewable Electricity Futures; 2012; Vol. 1;.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). Renewable Electricity Generation and Storage Technologies; 2012;
- Hesse, H.; Schimpe, M.; Kucevic, D.; Jossen, A. Lithium-Ion Battery Storage for the Grid – A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids. *Energies* 2017, 10, 2107, doi:10.3390/en10122107.
- Schimpe, M.; Piesch, C.; Hesse, H.; Paß, J.; Ritter, S.; Jossen, A. Power Flow Distribution Strategy for Improved Power Electronics Energy Efficiency in Battery Storage Systems: Development and Implementation in a Utility-Scale System. *Energies* 2018, 11, 533, doi:10.3390/en11030533.
- Aneke, M.; Wang, M. Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review. *Appl. Energy* 2016, 179, 350–377, doi:10.1016/J.APENERGY.2016.06.097.
- Han, X.; Liao, S.; Ai, X.; Yao, W.; Wen, J. Determining the Minimal Power Capacity of Energy Storage to Accommodate Renewable Generation. *Energies* 2017, 10, 468, doi:10.3390/en10040468.
- Zsiborács, H.; Hegedűsné Baranyai, N.; Vincze, A.; Háber, I.; Pintér, G. Economic and Technical Aspects of Flexible Storage Photovoltaic Systems in Europe. *Energies* 2018, 11, 1445, doi:10.3390/en11061445.
- Strbac, G.; Aunedi, M.; Pudjianto, D.; Djapic, P.; Teng, F.; Sturt, A.; Jackravut, D.; Sansom, R.; Yuffit, V.; Brandon, N. Strategic Assessment of the Role and Value of Energy Storage Systems in the UK Low Carbon Energy Future; London, United Kingdom, 2012;
- International Renewable Energy Agency Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030; Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2017;
- Kondziella, H.; Bruckner, T. Flexibility requirements of renewable energy based electricity systems – a review of research results and methodologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 53, 10–22, doi:10.1016/J.RSER.2015.07.199.
- Beaudin, M.; Zareipour, H.; Schellenberglobe, A.; Rosehart, W. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review. *Energy Sustain. Dev.* 2010, 14, 302–314, doi:10.1016/J.ESD.2010.09.007.
- Deane, J. P.; Ó Gallachóir, B. P.; McKeogh, E. J. Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2010, 14, 1293–1302, doi:10.1016/J.RSER.2009.11.015.
- Chen, H.; Cong, T. N.; Yang, W.; Tan, C.; Li, Y.; Ding, Y. Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Prog. Nat. Sci.* 2009, 19, 291–312, doi:10.1016/J.PNSC.2008.07.014.
- European Commission. EU Reference Scenario 2016; 2016;
- International Hydropower Association. 2017 Key Trends in Hydropower; 2017;
- International Renewable Energy Agency IRENA. Renewable Energy Capacity Statistics 2017; Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2017;
- Sandia National Laboratories. DOE Global Energy Storage Database, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability Available online: <http://www.energystorageexchange.org/projects>.
- Gimeno-Gutiérrez, M.; Lacal-Arántegui, R. Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage based on two existing reservoirs. *Renew. Energy* 2015, 75, 856–868, doi:10.1016/J.RENENE.2014.10.068.
- Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, ügyfélszolgálat. Tájékoztató a napelemes rendszerek jövőbeli kapacitásának várható alakulásáról Available online: <http://www.mekh.hu/> (accessed on May 15, 2019).
- Energy Regulations Regional Association, E. 1st Educational Workshop: Innovation and Regulation Available online: https://er-ranet.org/training/innovation_and_regulation_2018/?tab=program (accessed on May 15, 2019).
- Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont. A Hazai Nagykereskedelmi Villamosenergia-Piac Modellezése és Ellátásbiztonsági Elemzése 2030-ig különböző Erőművi Foratókönyvek Mellett; Budapest, Magyarország, 2019;
- Világüzemelés. Az Elmű-Émász megkapta az első energiatárolói engedélyt Available online: <https://www.vg.hu/vallalatok/energia/az-elmu-emasz-megkapta-az-elso-energiataroloi-engedelyt-1018983/> (accessed on May 14, 2019).
- Fuchs, G.; Lunz, B.; Leuthold, M.; Sauer, D. Technology Overview on Electricity Storage - Overview on the potential and on the deployment perspectives of electricity storage technologies; Berlin, Germany, 2012;
- Metalary. Lithium Price 2019 Available online: <https://www.metalary.com/lithium-price/> (accessed on May 16, 2019).
- Steinke, F.; Wolfrum, P.; Hoffmann, C. Grid vs. storage in a 100% renewable Europe. *Renew. Energy* 2013, 50, 826–832, doi:10.1016/J.RENENE.2012.07.044.
- engineering.com. After One Year of Operation, Tesla's Australian Mega Battery Is Doing Just Fine Available online: <https://www.engineering.com/ElectronicsDesign/ElectronicsDesignArticles/ArticleID/17746/After-One-Year-of-Operation-Teslas-Australian-Mega-Battery-Is-Doing-Just-Fine.aspx> (accessed on May 14, 2019).
- Energen Power Holding AB. Energen, IntelliStore; Budapest, Hungary, 2018;

Innovációtörténeti tanulságok a 20. századi Magyarországon

Dr. habil. Strausz Péter

habilitált egyetemi docens, Budapesti Corvinus Egyetem, Vezetés és Szervezés Tanszék

A magyar vállalatok politikai-gazdasági – s ennek következtében piaci – környezete a 20. század folyamán számos alkalommal drámai változásokon ment keresztül. Az első világháborút lezáró trianoni békediktátum, a hazánkat is érintő, 1929-ben bekövetkezett gazdasági világválság, a második világháború utáni kommunista hatalomátvétellel párhuzamosan lezajlott államosítás, a tervgazdálkodás bevezetése, az 1968-as Új Gazdasági Mechanizmus, az azt követő recentralizáció, majd a szocialista tervgazdaság kimerülésének hatására lassan elinduló átalakulás mind alapvetően határozta meg/szabta át a vállalatok mozgásterét. Mindez a technológiai fejlődés által generált kihívásokkal és a gyakran ideológiailag motivált „felső” elvárásokkal együtt súlyos dilemmák elé állította őket. A hol magánkézen, hol állami tulajdonban lévő vállalatok számára komoly feladatként jelentkezett versenyképességük fenntartása, lehetőség szerint fejlesztése, alkalmanként pedig fennmaradásuk biztosítása. Az ipari termelés és az energiaszektor különböző szegmenseiben működő gazdasági szervezetek e kihívásokra az innováció révén is igyekeztek választ adni. A szocialista tervgazdaság időszakában sem állt le az innováció, ami a szakmabeliek, az állami vállalati vezetők és az általuk megnyert politikai szereplők együttműködésének volt köszönhető. E történeti példák pedig alkalmanként a ma kérdéseinek, dilemmáinak megoldása tekintetében is tanulsággal bírhatnak.

Az innováció különböző tudományos megközelítéseit dióhéjban összegezve megállapítható, hogy az innováció az eddig felállított mintáktól való elszakadás, a vállalkozás gazdasági vagy társadalmi lehetőségeinek céltudatos, koncentrált megváltoztatására irányuló erőfeszítés, illetve alkalmazott kreativitás, mely üzleti értéket teremt. Legfőbb típusai az új termék/szolgáltatás, az új technológia és az új szervezeti megoldás. A vállalatok életében fontos szerepe van az innovációnak, hiszen innovációs tevékenységük eredményeképpen versenyelőnyre tehetnek szert. Érdemes hangsúlyozni, hogy bár az innováció épít a belső erőforrásokra, e tevékenység sikerére azonban kritikus hatással van a külső iparági környezet is. Mindennek alapján a vállalatok piaci részesedésük megőrzése, a költségcsökkentés, a minőségjavítás, a termékszerkezet bővítése, új piacok szerzése, illetve a termelés rugalmasságának növelése céljából folytatnak innovációs tevékenységet.¹

A vállalatok egyik alapvető dilemmája, hogy stratégiájukat úgy kell alakítaniuk, hogy egyszerre legyenek képesek a jelenben rendelkezésre álló erőforrásokkal a lehető leghatékonyabb működést biztosítani, s ezzel párhuzamosan a jövőre fókuszálva új lehetőségeket keresni és innoválni, garantálva ezáltal a hosszú távú eredményes működést.² Különösen igaz ez olyan dinamikus változó piaci – s tegyük hozzá: gazdaságpolitikai – környezetben, mint amilyen a 20. századi Magyarországon számos alkalommal kialakult. A magyar vállalatok különösen a két világháború között, de – más közegben ugyan – a szocialista tervgazdaság időszakában is vol-

taképpen innovációs nyomás alatt álltak; alkalmanként kényszerű innovációjuk legalább annyira irányult piaci részesedésük (egyáltalán: fennmaradásuk) biztosítására, mint új piacok megszerzésére.

Magyar vállalatok Trianon és a gazdasági világválság innovációs nyomása alatt

Az első világháborút lezáró Párizs környéki békék és különösen az 1920. évi trianoni békeszerződés teljesen felborította az addig az egész Kárpát-medencét magában foglaló Magyarország évszázadok alatt kialakult gazdasági egyensúlyát, szerkezetét. Ezzel párhuzamosan szétért a Kárpát-medence gazdasági munkamegosztása is. A történelmi Magyarországon belül a nyersanyagokban és energiahordozókban viszonylag gazdagabb peremterületei látták el a döntően központi régiókba települt feldolgozóipart, amely viszont iparcikkkel és élelmiszerrel látta el a hegyvidéki lakosságot. Az újonnan megvont határok azonban nemcsak a nemzetiségi viszonyokra, de a gazdasági szempontokra sem voltak tekintettel: a feldolgozóipart elvágták nyersanyag-lelőhelyeitől, alapanyag-bázisától. Ennek következtében a trianoni Magyarország gazdasági szerkezete veszélyesen féloldalassá vált. Egyes iparágak (főleg a könnyűipar területén) szinte teljesen hiányoztak, hiszen korábban e termékeket a Lajtván túlról szerezte be az ország. Más, elsősorban a feldolgozóiparhoz tartozó szektorok (például a malomipar) viszont hatalmas kihasználatlan kapacitásokkal rendelkeztek, ami gyárbezárásokhoz, elbocsátásokhoz, tehát a munkanélküliség növekedéséhez vezetett. Mindent összevetve a trianoni béke következményeként a magyar ipar jövedelmei 51%-kal csökkentek.³ A gazdasági konszolidáció érdekében 1924-ben felvett népszövegségi kölcsönt elsősorban a régi tartozások finanszírozására, a vármegyék és a főváros kötelezettségeinek teljesítésére fordították, csupán 10%-a jutott a produktív beruházásokra. Mindezzel együtt a magyar gazdaság az 1920-as évek közepére stabilizálódott és lassan bekapcsolódott az időközben óvatosan kibontakozó világ-gazdasági konjunktúrába.⁴

Az 1920-as évek meginduló magyar gazdasági konjunktúrájának az 1929. október 24-én, a „fekete csütörtökön” a New York-i tőzsde részvénytőzsa összeomlásával elinduló gazdasági világválság vetett véget. Az 1931-re a magyar gazdaságot is elérő súlyos krízis a hazai ipar esetében csak egyes területeken okozott komoly visszaesést. A leginkább ott volt megfigyelhető a zuhanás, ahol termelőeszközök előállításáról volt szó: a vas- és fémiparban, a gépgyártásban, az építőanyag-iparban, illetve a faiparban. A válság hatására megszűntek azok a piacok, ahol ezek az iparágak értékesíthették volna termékeiket. Hasonlóan súlyos helyzetbe került az élelmiszeripar is, ahol a mezőgazdasági válság mellett a fogyasztó-társadalom krízise (munkanélküliség, jövedelem-kiesés, szociális válság) okozott komoly visszaesést. A fenti folyamatokat is figyelembe véve a mélypont az iparban 1932-re érkezett el: ekkor az 1928-as szint 74%-át állította elő az ágazat. Emellett az ipari foglalkoztatás drasztikusan visszaesett: 921 ezer fő helyett (1929) már csak alig 650 ezer ember dolgozott az ágazatban (1933). Mind-

ezzel szemben a könnyűipar sokkal kevésbé érezte meg a válság hatásait: a magyar textil-, bőr- és papíripar már a 20-as évektől kezdődően komoly vámvédelmet élvezett, és az egyre erősödő állami gazdaságpolitika révén többé-kevésbé ki tudta védeni a külföld esetleges versenylőnyét.⁵ Mindent egybevetve azonban a magyar gazdaság – hasonlóan a többi államéhoz – csupán az 1930-as, 40-es évek fordulóján, a világháborús fegyverkezés hatására lábalt ki a válságból.

Ebben a két évtized alatt két megrázkódtatást is hozó környezetben a vállalatok egy része az új termék létrehozására és bevezetésére irányuló innováció eszközét választotta további eredményes működése érdekében. Az alábbiakban ezzel kapcsolatban villantunk fel tipikus példákat.

Az 1896-ban alapított győri Magyar Waggon és Gépgyár fő profilja kezdetben a vasúti kocsik gyártása volt. Sikeres működését jelzi, hogy 1898-ban már elkészítette az 1000. vasúti kocsit is. A vállalat azonban nem elégedett meg előkelő hazai piaci helyzetével, és a technikai fejlődéssel lépést tartva már a századelő évtizedében komoly innovációt hajtott végre: a gyár tevékenysége egyre határozottabban a robbanómotoros járművek gyártása felé mozdult el. Ez a trend az I. világháború folyamán is folytatódott: a vállalat a háború kihívásaira sikeresen tudott reagálni, új piacra lett, termékkörét pedig kiterjesztette. Az előre tekintő innovációs beruházások hosszú távon kifizetődőnek bizonyultak: aránylag széles termékpalettájának köszönhetően nagyobb zökkenők nélkül élte át az 1930-as évek első esztendeinek nehéz időszakát. A magyar haderőfejlesztést elindító állami beruházások, az 1939-ben meginduló győri program keretében a vállalat komoly termékfejlesztéseket eszközölt. Ezek eredményeképpen született meg – hat magyar gyár kooperációjában, de győri irányítással – a kifejezetten katonai célra kifejlesztett Botond terepjáró gépkocsi, mely teljesítményét, technikai színvonalát tekintve messze felülmúlta a tíz évvel később, ideológiai okokból azt felváltó Csepel tehergépkocsit. Az 1930-as, 40-es évek fordulóján Győrben komoly üzemkorszerűsítésre is sor került. Ezzel párhuzamosan a vállalat újabb innovatív profilbővítést hajtott végre, melynek eredményeképpen cseh licenc alapján kezdtek el páncélosokat gyártani. Emellett a termékpalettán katonai repülőgépek is megjelentek: először a magyar tervezésű típusok, 1942-től az úgy nevezett Messerschmitt-program keretében a Dunai Repülőgépgyárral kooperációban és német licenc alapján az Me-109 vadásziparrepülőgép, majd az Me-210 romboló gyártása kezdődött el.⁶

A magyar olajipar létrejötté önmagában is innovatív lépés volt. Az első világháború révén fejlődésnek indult iparág igazán az 1930-as években kapott erőre, eredetileg amerikaiak részvételével: a tengerentúli befektetők 1938. július 18-án létrehozták a Standard Oil Company leányvállalataként a Magyar-Amerikai Olajipari Rt.-t, a MAORT-ot. Miután Magyarország 1941 decemberében hadat üzent az Egyesült Államoknak, a vállalat magyar irányítás alá került, de nagy volt rá a németek befolyása is.⁷ A kor legmodernebb technológiáját alkalmazó vállalat által Zala megyében feltárt kőolajmezők stratégiai fontosságát jelzi, hogy azok megtartásáért, majd visszaszerzéséért a német haderő a szovjet Vörös Hadsereggel szemben súlyos harcokat vívott 1944/45 folyamán.

A tudományos kutatáson alapuló magyar gyógyszeripar létrehozása Richter Gedeon névéhez fűződik, akinek laboratóriuma 1901-ben kezdte meg működését. Fontos mérföldkő volt a gyár életében az acetil-szalicilsav stabil sójának 1911-es innovatív megteremtése, mely Kalmopyrin néven máig sikeres készítmény a piacon. Hasonlóan az olajiparhoz, a gyógyszeripar fejlődését is fellendítette a vi-

lágháborús konjunktúra, a fertőtlenítőszeres, harci gázok iránti kereslet felfutásában a hadigazdaság körülményei közepette. Trianon után a kapacitások kihasználásának egyetlen módja az exporttevékenység növelése volt, amelyet Európában ugyanakkor államközi szerződések, kereskedelmi korlátozások fékeztek.⁸

A magyar likőripar emblematikus vállalata, a Zwack-család által alapított cég termékei – különösen a titkos családi recept alapján gyártott Unicum – itthon és a nagyvilágban egyaránt közismertté tették a vállalkozást. A kapitalista időszakban éppúgy, mint a szocializmus évtizedei alatt olyan biztos felvevőpiaccal rendelkezett, melyet még a gazdasági krízisek – közülük kiemelendő az 1929-1933 közötti nagy gazdasági világválság – sem szűkítettek be. A Zwack az első világháború kitörésekor 220 terméket gyártott s forgalmazott – saját termékeiből pedig 20-at exportált a világ számos országába.⁹ Még a saját szűkebb, stabilnak tekinthető piaci helyzetében is a vállalat mindvégig törekedett profiljának bővítésére. 1924-től konyakgyártási engedélyt szerzett, majd a nagy gazdasági világválság idején gépek, szénsav, valamint izzólámpák és elektronikai világítási berendezések gyártási jogát is megszerezte. A termékek világpiacra forgalmazása érdekében 1933-ban a család szerződést kötött a New York-i Kraus Bros. and Co. Inc. céggel a kizárólagos tengerentúli forgalmazásra, öt évvel később pedig a Zwack-védjegyek az Egyesült Államok szabadalmi hivatalában bejegyzésre kerültek.¹⁰ Mindezen innovatív lépéseknek köszönhetően a vállalat mindvégig sikeresen működött, s a válság éveit is nagyobb krízis nélkül élte át.

Innováció a szocialista Magyarországon

A magyar gazdaságban – különösen szovjet és kommunista nyomásra – a második világháború befejeződése után hamarosan megindult a vállalatok teljes körű államosítása, mely több hullámban következett be. Ennek utolsó lépéseként 1949-ben a tíz dolgozónál többet foglalkoztató üzemek és a külföldi tulajdonú vállalatok is állami tulajdonba kerültek. Ez utóbbiak egy részét szovjet-magyar vegyesvállalattá alakították át.

Fontos változást jelentett a korábbi termelési körülményekhez képest, hogy az állam az újraépítés érdekében egyre gyakrabban és egyre határozottabban beleavatkozott a gazdasági folyamatokba. 1947 júniusában sor került az Országos Tervhivatal létrehozására, melynek legfőbb feladata az 1947-49-es hároméves gazdasági terv főbb célkitűzéseinek meghatározása és ezen belül a feladatok évekre és vállalatokra történő lebontása volt. Ezzel Magyarország tervgazdasági keretek között termelő állammá vált.¹¹

A kommunista vezetés meg volt arról győződve, hogy küszöbön áll a 3. világháború, amiben a szocialista Magyarország csupán kiterjedt nehéziparra támaszkodó hadsereggel vehet részt sikeresen, ezért rohamtempóban elkezdődött e döntően katonai célokra termelő ágazat fejlesztése. A felkészülés jegyében került sor a Kölcse-nő Gazdasági Segítség Tanácsának létrehozására 1949-ben, mely a szovjet tömb országainak gazdasági erőfeszítéseit koordinálta, együttműködésüket szorgalmazta.¹² Mivel a Szovjetunió által megszállt országok – a nyugatiakkal ellentétben – elutasították az Európa összes állama részére felajánlott amerikai Marshall-segélyt, így a kontinensre gazdasági tekintetben is leereszkedett a vasfüggöny.

A sztálinista indíttatású állami intézkedések súlyos helyzetet teremtettek és sokban hozzájárultak a magyar gazdaság torzulásához. Az ipari szektorok egyensúlya felborult, a lakosság igényeit kielégíteni hivatott könnyűipar nem volt képes ellátni feladatát, a fogyasztási cikkek terén egyre nagyobb hiány keletkezett. A kohászatnak nem állt rendelkezésére hazai nyersanyagbázis, ami a ter-

melést megdrágította és az ország gazdasági kiszolgáltatottságát növelte. Az erőltetett fejlesztés alatt nem fordítottak kellő figyelmet a meglévő üzemek karbantartására és technikai fejlesztésére. 1953-ra a hozzáértők számára világossá vált, hogy az ország gazdasága csaknem az összeomlás szélén áll. A társadalom minden szegmensében jelenlévő elégedetlenség végül az 1956-os forradalomban és szabadságharcban csúcson sodort ki.

Az 1956-os forradalom és szabadságharc szovjet leverését követően hatalomra került Kádár Jánosnak hozzá kellett látnia a szétvert szocialista állam újjászervezéséhez. Kádár rezsimjének visszafogottabb arculatot kívánt adni, melyet különösen az 1963-as tömeges amnesztia révén sikerült elérnie. Ezt követően az addig még kemény elnyomó eszközökkel uralkodó rendszer elkezdett konszolidálódni.

A tervgazdálkodás és annak irányító szervei azonban továbbra is fennmaradtak, ráadásul a modernizáció elmaradása, a felújítások elmulasztása párosulva a merev tervutasításos rendszerrel és a kommunális beruházások, fenntartási munkák alacsony volumenével a gazdasági rendszer határainak elérését eredményezték. Az 1960-as évek közepén a magyar gazdasági reformnak nem csupán a szükségessége látszott, de a politikai feltételei is megteremtődtek, hiszen több szocialista országban is közgazdász-szakmapolitikai körökben felvetődött a gazdasági reform szükségessége. A később Új Gazdasági Mechanizmusnak elnevezett magyar reformcsomag fontos eleme volt az addigi szigorúan pártközpontból irányított beruházási politika lazítása. A vállalatoknak 1968-tól lehetőségük nyílt arra, hogy saját megtermelt nyereségük egy részét szabadon beruházhassák, sőt egyenesen létre kellett hozniuk egy fejlesztési alapot, ahová nyereségük 27%-át be kellett fizetniük. Beruházásaikat ebből, illetve igényelhető állami támogatásból és hitelből kellett fedezniük. Mindemellett a kiemelt állami beruházások is megmaradtak, azonban a vállalatok önállósága a fenti intézkedés révén mindenképp megnövekedett. Az addig az állam által szabályozott árrendszer is „fellazításra” került, s ezzel párhuzamosan az új gazdasági mechanizmus a foglalkoztatáson és a bérrendszeren is változtatott. A vállalatoknál a nyereség 10%-ából úgy nevezett részesedési alapot kellett létrehozni, amiből a dolgozók év végén különböző arányban kereset-kiegészítést kaptak. 1972-től bevezették a bértömeg-gazdálkodást, ami további lehetőséget biztosított a munkateljesítmény honorálására, egyben rögzítette a vállalaton belüli keresetkülönbségeket is.¹³

A gazdasági reform ege fölött azonban hamarosan egyre több felhő tornyosult. A Szovjetunióban megakadt a gazdasági reformfolyamat, Magyarország reformkezdeményezéseinek pedig az 1968-as prágai események, a csehszlovák szocialista reformfolyamat szovjet vezetésű intervencióval való eltiprása és a lengyel munkásfelkelés elfojtása adta meg a kegyelemdőfést. Kádár mindezt érzékelte, és a reformfolyamat, valamint annak emblemikus alakjainak feláldozása révén igyekezett kifogni a szelet a végső soron ellene is fellépő „munkásellenzék” vitorlájából. A gazdasági reform kifulladásra több hullámban történt meg, majd az MSZMP Központi Bizottságának 1972. november végi határozata pedig voltaképpen megakasztotta azt. Mindennek hatására megkezdődött a termelés recentralizációja.

A politikai belharcok és az új gazdasági mechanizmus formális leállítása ellenére a magyar gazdaságot az 1970-es évek első felében még a lendületes fejlődés jellemezte. Ezt törte derékba a nemzetközi piacokon 1973-ban bekövetkezett olajárrobbanás (első olajválság), melynek hatásait Magyarország akkortól kezdve érezte

meg, amikor a Szovjetunió 1975-től az általa forgalmazott kőolaj szocialista országoknak addig nyomott áron való eladása helyett rátért az úgynevezett csúszóáras értékesítésre.

Az MSZMP vezetése is észlelte a válságjeleket, és 1978-tól gazdasági korrekcióra törekedett. 1987-re azonban nyilvánvalóvá vált, hogy mivel az ország adósságállománya kritikus szintet ért el, a nyugati tőke megmozdulása nélkül államcsőd fenyeget. Ezért megkezdődött a gazdasági társaságokról szóló törvény – az általános szóhasználatban: társasági törvény – kidolgozása. Az állampárt – bár a Szovjetunióban meginduló gorbacsovi reformok következtében Moszkva is megértőbb volt az ilyen jellegű kezdeményezések iránt – valamiféle piacgazdasági modell helyett még mindig reformkommunizmust kívánt megvalósítani. A törvény eredetileg vegyes gazdaság létrehozását tűzte ki célul, ahol a szocialista szektor mellett egyre növekvő szerepet kaphatnak a hazai és a külföldi befektetők. Hat gazdasági társasági formát tett lehetővé, megszüntetve ezek állami engedélyezését.¹⁴ Mindebből fakadóan az 1980-as évek végére az kapitalizmusba való átmenet gazdasági, gazdasági-jogi előfeltételei hamarabb megteremtődtek, mint a politikaiak. Az 1980-as évtized utolsó néhány esztendejében meginduló spontán privatizáció máig sok kérdőjelet hagyott maga után, az azonban tagadhatatlan, hogy a rendszerváltást alapvetően gazdasági okok eredményezték, melyeknek bizonyos tekintetben következményei voltak a politikai változások. A Szovjetunió és a szocialista tábor gazdaságilag kimerült, a kapitalizmushoz képest még mindig merev tervutasításos termelési rend tovább nem volt fenntartható. Mindezek eredményeképpen 1990-től Magyarország visszatért a kapitalista gazdasági modellhez.

Látható, hogy még a szabad versenyt korlátozó, szinte teljesen megszüntető szocialista rendszer stabilnak tűnő keretei között is milyen sok változás következett be a vállalatok külső környezetében. Azt gondolhatnánk, hogy e közeg nem kedvezett az innovációnak, azonban még a tervgazdálkodás keretei között is akadtak olyan vállalatvezetők, akik – különösen az új gazdasági mechanizmus biztosította nagyobb mozgásterüket kihasználva – piaci gondolkodásról is tanúbizonyságot téve innovatív lépéseket tettek szervezetük hatékonyabb működése, illetve új piacok szerzése érdekében.

Az először szovjet katonai irányítás alatt, majd állami tulajdonban működő győri Magyar Waggon és Gépgyár ebben az időszakban Rába néven folytatta tevékenységét. A szocialista időszakban 1963-1989 között a vállalat legendás vezetője, Horváth Ede vezérigazgató volt, aki jó politikai és külgazdasági kapcsolatait is latba vetve számos innovációt vezetett be a Rábánál. Új nyugati (!) licenckek vásárlásával és saját fejlesztések révén olyan sikeres termékek jöttek létre, mint a Rába tehergépkocsi és kamion, traktorok és korszerű munkagépek. Versenyképes járműveivel a vállalat – a gazdasági vasfüggőnyt átlépve – megjelent az Egyesült Államok piacán, kiépítette üzleti kapcsolatait a legnagyobb járműipari cégekkel. Az 1970-es évektől kezdve két évtized alatt a Rába amerikai exportjának összértéke meghaladta a 700 millió dollárt.¹⁵

A második világháború befejeződésével az olajipari vállalat, a MAORT először szovjet vezetéssel működött, majd 1945 novemberétől átvették azt az amerikai tulajdonosok. Ezzel párhuzamosan az állam a vállalat élére kormánybiztost nevezett ki. Papp Simon, a MAORT magyar vezetője és a kormányzati szervek között állandó össztűzések kezdődtek, mivel ez utóbbiak – szakszerűtlenül – a termelés minél nagyobb volumenű növelését erőltették. Egyre világosabban érezhetővé vált, hogy a kommunisták hatalma alá kerülő állam a MAORT államosítására törekszik. A Standard Oil megfelelő

kártérítés ellenében hajlandó is lett volna átadni a vállalatot, de a tárgyalások nem vezettek eredményre. Végül a MAORT-ot 1948-ban államosították, az Államvédelmi Osztály (ÁVO) pedig letartóztatta Papp Simont, akit társaival együtt az első magyar koncepciók perben elítéltek. Az államosított olajipari vállalat átszervezését követően a Magyar-Szovjet Olaj Rt., a MASZOLAJ nevet kapta. A vállalat-komplexum neve később Országos Kőolaj- és Gázipari Tröszt az (OKGT) lett, mely 1957-től 1991-ig fogta össze a magyar olaj- és gázipar vállalati szervezeteit.

A magyar ipar és a háztartások egyre növekvő kőolaj- és földgázigényeinek kielégítésére nagy lendületet kapott a kutatás és a feltárt lelőhelyek kiaknázása. A még a MAORT által megépített zalai 8 hüvelykes csővezetékkel Európában egyedülálló módon kőolajat és földgázt váltakozva szállítottak Csepelre, az ottani ipari komplexum számára. 1949-ben külön vállalatot hoztak létre a kőolaj és a földgáz szállítására. A szocializmus ideje alatt elkészült kőolajvezetékek közül a legismertebb az 1962-ben megépült Barátság I. és a 10 évvel később befejezett Barátság II. vezeték.¹⁶

A kőolajipar fejlesztésével függött össze az energetikai szolgáltatások terén végbement változás is. Az 1950-es évek végéig alapvetően széntüzelésű hőerőművek építésére került sor. A gyorsan fejlődő ipar egyre nagyobb energiaigénye, Magyarország barnaszénkészleteinek véges volta és a kitermelés egyre növekvő költségei azonban a kérdés teljes átgondolását tette szükségessé. A kikerülhetetlen innováció végrehajtását az is segítette, hogy az 1950-es évek végétől a KGST által alkalmazni kezdett ár- és elszámolási rendszer következtében a szénhidrogén bázison termelhető villamos energiát jóval kedvezőbb áron lehetett előállítani. Mindezek miatt a már említett vezetékek által szállított szovjet kőolajra építve kezdődött el Százhalombattán a Dunai Kőolajipari Vállalat (DKV) és a Dunamenti Hőerőmű Vállalat (DHV) együttes beruházása. A komoly technológiai innovációnak is számító DHV építésének első üteme 1968-as befejezésekor az erőműrész összes villamos teljesítménye 581 MW, hőszolgáltatási teljesítménye 370 MW volt. Az 1970-1976 közötti második ütem befejezésekor pedig az erőmű összteljesítménye 1870 MW, a hőszolgáltatási teljesítmény 975 MW lett. A DHV jó fizikai hatásfoka 95%-os kapacitáskihasználást tett lehetővé. 1980-tól kezdve azonban az olajár jelentős emelkedése már nem engedte az erőmű eredetileg tervezett kapacitásának kihasználását. Ezt a csökkenési folyamatot pedig egy újabb energetikai innovációs lépés, a Paksi Atomerőmű üzembe helyezése csak tovább erősítette.¹⁷

A gyógyszeripar 1948-as államosítása teljesen megváltoztatta a termelés és kutatás szerkezetét. Mindössze öt gyógyszergyár működött tovább: a Chinoin, a Kőbányai Gyógyszerárugyár (a Richter-gyár új néven), az Alkaloida, az Egyesült Gyógyszer és Tápszer-gyár, illetve a Magyar Pharma Gyógyszergyár. 1949-ben létrejött a Medimpex Gyógyszer-külkereskedelmi Vállalat, amely a külkereskedelemben államosított kereteit adta.

A gyártás elsődleges feladata a hazai igények kielégítése volt. Ezzel együtt a magyar gyógyszeripar 1965-ben termelésének több mint 60%-át a világ 70 országába exportálta, bár exportlehetőségei elsődlegesen a szocialista országokba és a Távol-Keletre irányultak.

Az iparág 1965 utáni fellendülését az tette lehetővé, hogy a gyógyszergyárak vezetői innovatív módon kihasználták a szocialista gazdaság akkori rendszerén belüli lehetőségeiket. A legnagyobb magyar gyógyszeripari vállalatok képessé váltak az együttműködésre a fejlett országok gyógyszergyártóival mind az originális vegyületek közös kifejlesztése, mind a licencmegállapodások terén. Eredményes együttműködés alakult ki többek között a svájci Ciba és San-

doz, a belga Jansen, a német Bayer és más gyógyszergyárakkal. Ebben az időszakban zárultak le a nagy gyógyszeripari rekonstrukciós programok is.

A magyar gyógyszergyárak 1968 után egyre nagyobb önállóságra tettek szert, s az 1980-as évek elejétől fokozatosan önállósodott külkereskedelmi tevékenységük is. Magyarország 1976-ban csatlakozott az EFTA gyógyszerminőség-ellenőrzést szabályozó egyezményéhez. Ekkor az öt vezető magyar gyógyszergyár (Alkaloida, Biogal, Chinoin, EGYT, Kőbányai) a nemzeti jövedelem 5-7%-át adta. Óriási, világméretű sikert aratott a Kőbányai Gyógyszergyár 1977-ben befejezett innovációja, melynek eredményeképpen az agyi keringést serkentő gyógyszer saját erőből való kifejlesztése történt meg. A Cavinton névre keresztelt készítmény ezáltal komoly devizabevételhez juttatva a vállalatot.¹⁸

A Zwack-gyárat a második világháború alatti úgy nevezett zsidótörvények eltörlésével 1946-ban a két testvér: Zwack Béla és Zwack János visszakapta. Két évvel később, 1948-ban azonban sor került a gyár államosítására. A testvérpár közül János hamarosan elhagyta az országot, és a titkos családi receptet is magával vitte. Zwack Béla egy ideig még a vállalatnál dolgozott alacsony beosztásban, majd őt is eltávolították. 1948-1960 között Unicum Likörgyár néven működött az állami tulajdonban lévő vállalat, majd az 1961-1970 közötti időszakban Magyar Likőripari Vállalat (MALIV) Unicum Likörgyára nevet kapta. A likőripar trösztösítésével 1971 és 1989 között Budapesti Likőripari Vállalat (BULIV) Unicum Likörgyára nevet viselte.

Az állami likőripar keretében működő vállalatok vezetői tovább vitték „a Zwack” innovatív szellemiségét. Ezt bizonyította az is, hogy 1968-ban nagy lépésre került sor a hozzájuk tartozó magyar üdítőital-piacon. A nyugati életforma egyik szimbóluma, a korábban a szocialista országokban sokat kárhoztatott Coca Cola és a Pepsi Cola Magyarországon is megjelenhetett. „Kelemen Gyuri bácsi”¹⁹ összeköttetései folytán a Coca-Cola megjelent Magyarországon. [...] Ez teljesen profilidegen volt nekünk. [...] Ez 1968-ban volt, rá egy-két évre jött a Pepsi Cola és a Star üdítők. [...] A Coca-Colaszerződést a személyes kapcsolatok útján szereztek. A gépeket, gondolom, jutányos áron biztosították Kőbányára. A Coca-Cola cégnek a nagy bolt a koncentrátum és a recept volt. Tőlük hordókban kaptuk meg a különböző szörpöket, és a recept alapján kellett kikevernünk. [...] A Coca-Cola figyelt a minőségre, szigorúan ellenőrizték. [...] Ők az itteni értékesítésből kaptak részesedést. Nekünk viszont a saját dollárkeretünkől kellett beszerezni a koncentrátumot. Ugyanez volt a helyzet az Unicum egyes, csak külföldön elérhető összetevőivel is. Ez pedig anyagilag megterhelő volt.”²⁰ Mindennek ellenére az innováció sikeresnek bizonyult, a Magyarországon újak számító termékek iránt komoly kereslet mutatkozott.

Mindezzel párhuzamosan a Zwack-család az 1970-es években Olaszországban, Genovában kezdte meg az Unicum saját termelését, mert az eredeti recepttel ők rendelkeztek, de az alapján nekik Magyarországon sem gyártani, sem exportálni nem lehetett. Ekkoriban volt egy robbanásszerű ugrás a gyomorkeserűk piacán, amit a cég jól használt ki. Az 1980-as évek végén a család ötleteként megfogalmazódott a hazaköltözés és a gyár visszaszerzése.²¹

Ennek eredményeképpen 1989-ben az elsők között történt meg – a rendszer jellegét tekintve igencsak innovatív módon – a vállalat részleges reprivatizációja: ekkortól az addig állami tulajdonban lévő gyár egy részében a Zwack AG 50%-os, a BULIV 46%-os, a Magyar Hitelbank Rt. 2%-os, a Monimpex Külkereskedelmi Vállalat 2%-os tulajdonosi részesedése mellett a Zwack Unicum Budapest Kft. megkezdte működését.²²

Konklúzió

A magyar vállalatok a 20. század első felében több alkalommal álltak innovációs nyomás alatt. Az első világháború előtt főleg piaci részesedésük bővítése érdekében innováltak, a trianoni békediktátum révén pedig igen kedvezőtlenül megváltozott környezetük kihívásaira adtak innovációs válaszokat. Nem túlzás kijelenteni, hogy a két világháború között sikeresen működő vállalatok kifejezetten innovációs beruházásaik révén védték ki a gazdasági világválság súlyos következményeit. Új termékek fejlesztésével és új piacok felkutatásával nemcsak itthoni, de nemzetközi helyzetüket is fenntartani, alkalmanként javítani is tudták.

A szocialista tervgazdálkodás, az államosítás, illetve a Nyugattól való kezdeti izoláció hiába csökkentette drasztikusan magát az üzleti versenyt, a magyar gazdaság zászlóshajójának tekinthető vállalatok mégsem hanyagolták el az innováció ügyét. Ezen erőfeszítéseik révén kevésbé saját fennmaradásukat igyekeztek biztosítani – ezt a sajátos, ideológiailag vezérelt piaci környezet kis mértékben fenyegette –, innovációs tevékenységük sokkal inkább a terjeszkedést és a nemzetközi piacokra történő sikeres kilépést szolgálta. Ahhoz azonban, hogy ebben az időszakban se álljon le az innováció, három szereplő kooperációjára volt szükség. Az adott szektor szakemberei tudásukkal támogatták e kezdeményezéseket, de gyakran voltak az innovációk ötletgazdái is. Az ő iniciatívájukat és munkájukat támogatták az állami vállalati vezetők, akik gazdasági és politikai befolyásukat is latba vetették az egyes innovációk megvalósítása, valamint gazdasági és társadalmi haszonra váltása érdekében. Többen közülük – mint például Horváth Ede, a Rába, vagy Varga Edit, a Kőbányai Gyógyszergyár vezérigazgatója – fontos politikai pozíciókkal (MSZMP központi bizottsági tagság, országgyűlési mandátum stb.) is rendelkeztek, ami komoly lobbierőt biztosított számukra. Természetesen az általuk megnyert szakpolitikai felsővezetők támogatása is szükséges volt egy-egy innováció megvalósulásához. A szakmai, a vállalatvezetői és a szakpolitikai aktorok együttműködésének köszönhetően a sikeres vállalatokon belül olyan innovációs készség halmozódott fel, melyet a rendszerváltást követően eredménnyel lehetett (volna) hasznosítani, s melynek tanulságait napjaink megváltozott politikai-gazdasági környezetében is érdemes megfontolni.

Irodalmi hivatkozások

- ¹ Sára, Zoltán; Csedő, Zoltán; Fejes, József; Tóth, Tamás; Pörzse, Gábor (2014) *Innovációmenedzsment és innovációs stratégiák – a vállalati tudás szerepe az innovációs folyamatokban* (Innovation management and innovation strategies – the role of corporate knowledge in innovative processes). Vezetéstudomány - Budapest Management Review, 45 (10). pp. 42-48.
- ² Csedő, Zoltán; Zavarkó, Máté; Sára, Zoltán (2018) *A vállalati innováció által indukált szervezeti változások a magyar energiaszektorban*. Vezetéstudomány – Budapest Management Review, 49 (2). pp. 53-62.
- ³ Berend T., Iván; Ránki, György (1976) *Közép-Kelet-Európa gazdasági fejlődése a 19-20. században*. Budapest. pp. 255-292.
- ⁴ Kaposi, Zoltán (2010) *Magyarország gazdaságtörténete 1700-2000*. Budapest-Pécs. pp. 278-282.
- ⁵ Zachar, Péter Krisztián (2014) *Gazdasági válságok, társadalmi feszültségek, modern válaszkísérletek Európában a két világháború között*. L'Harmattan Kiadó, Budapest, p. 27., illetve Kaposi, Zoltán (2010) *Magyarország gazdaságtörténete 1700-2000*. Budapest-Pécs. p. 292.

- ⁶ Vezetéstudomány- és módszertan (Menedzsmenttörténet) tananyag (2019). Budapesti Corvinus Egyetem.
- ⁷ Szurovy, Géza (1993) *A kőolaj regénye*. Hírlapkiadó Vállalat, Budapest.
- ⁸ Fehérvári, Anikó (2009) *A magyar gyógyszeripar fejlődése az 1920-as évektől*. Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 4. (114.) évfolyam 1. szám – 2009. február
- ⁹ Nagy, Krisztián (2001) *Zwack J. és Társai a magyar gazdaságban 1915-ig*. A Zwack Unicum Nyrt. közreműködésével készült szakdolgozat. p. 39.
- ¹⁰ Gerencsér, Emil (2009) *Kétszáz évről, 60 percben*. Budapest.
- ¹¹ Berend T., Iván (1974) *A szocialista gazdaság fejlődése Magyarországon 1945-1968*. Budapest.
- ¹² A KGST-re vonatkozóan lásd: Berend T., Iván (1974) *A szocialista gazdaság fejlődése Magyarországon 1945-1968*. Budapest. pp. 163-164.
- ¹³ Pető, Iván; Szakács, Sándor (1985) *A hazai gazdaság négy évtizedének története 1945-1985*. I. Budapest.
- ¹⁴ Kaposi, Zoltán (2010) *Magyarország gazdaságtörténete 1700-2000*. Budapest-Pécs.
- ¹⁵ Vezetéstudomány- és módszertan (Menedzsmenttörténet) tananyag (2019). Budapesti Corvinus Egyetem.
- ¹⁶ A magyar kőolajipar történetére részletesebben lásd: Szurovy, Géza (1993) *A kőolaj regénye*. Hírlapkiadó Vállalat, Budapest., illetve *A magyar bányászat évezredes története*. (1996) I. kötet (Szerk.: Faller, Gusztáv; Kun, Béla; Zsámboki, László) és II. kötet (Szerk.: Benke, István; Reményi, Viktor). Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, Budapest.
- ¹⁷ *Százhalombatta – Tanulmányok a 30 éves város történetéből 1970-2000*. (Szerk.: Mitták, Ferenc; Vicze, Magdolna; Szalai, Gáborné). Százhalombatta. pp. 23-33.
- ¹⁸ Fehérvári, Anikó (2009) *A magyar gyógyszeripar fejlődése az 1920-as évektől*. Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 4. (114.) évfolyam 1. szám – 2009. február
- ¹⁹ Kelemen György, a Magyar Likőripari Vállalat akkori vezérigazgatója. (S.P.)
- ²⁰ Interjú Gerencsér Emillel, a Magyar Likőripari Vállalat volt üzemvezetőjével, 2014.
- ²¹ Interjú Zwack Péterné Anne asszonnyal, 2014.
- ²² Gerencsér, Emil (2009) *Kétszáz évről, 60 percben*. Budapest. és Gerencsér, Emil (2007) *A magyar likőripar metamorfózisa 1945-1992*.



Kapcsolódó 2019-es magyarországi Power-to-Gas események

Dr. Imre Attila

egyetemi tanár, tanszékvezető helyettes,
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
tudományos tanácsadó, MTA Energiatudományi Kutatóközpont

Dr. Csedő Zoltán

tanszékvezető egyetemi docens,
Budapesti Corvinus Egyetem,
Gazdálkodástudományi Kar, Vezetés és Szervezés Tanszék
ügyvezető igazgató, Power-to-Gas Hungary Kft.

A 2019-es márciusi konferencia nem egy magában álló esemény volt. Egy kutatási eredményt piacképes terméké tenni egy hosszú, komplex folyamat; ezen folyamat közben újabb és újabb tudományos és műszaki problémákat kell megoldani, ezért szükség van egy megfelelő kutatási háttérre.

A Power-to-Gas Hungary Kft. a kutatási és innovációs tevékenységében az úgynevezett nyílt innovációs (Open Innovation) modellt alkalmazza, amelyben a kutatás-fejlesztés nemcsak egy adott intézményben folyik, hanem a felmerülő problémákra egy szélesebb körből is érkezhetnek megoldások. Egy ilyen kutatói háttér kialakítása nem egyszerű feladat. Jelenleg ennek a hálózatnak a kiépítése folyik; ennek alapja a már létező BME-Pannon Egyetem tengely. Az alábbiakban két kapcsolódó, tudományos jellegű eseményt mutatunk be.

Power-to-Gas Innovációs Nap, 2019 június 14, BME

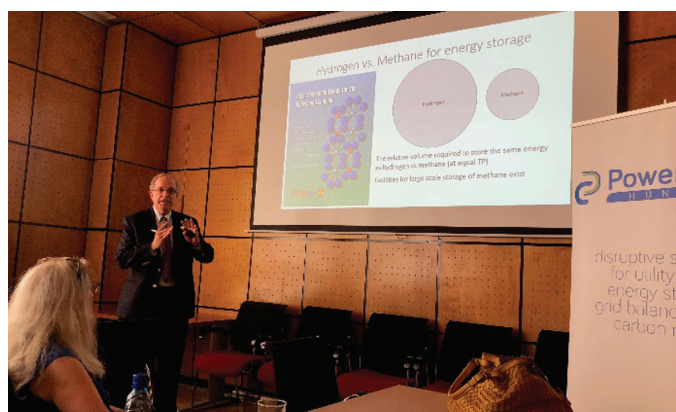
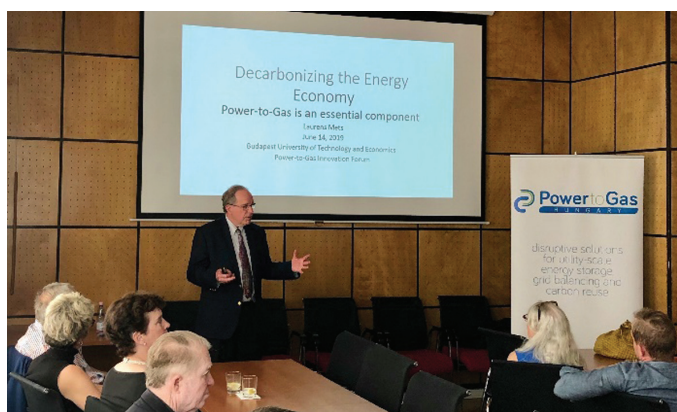
A márciusi konferencia után – amelynek egyik legfőbb célja a terület magyar kutatói közötti K+F+I együttműködési lehetőségek feltérképezése volt – szükségessé vált egy olyan rendezvény, ahol a kutatók mellett már ipari, gazdasági és politikai szereplők is részt vesznek. Emellett a konferenciák általában arról szólnak, hogy „eddig mit tettünk”, így kellett egy fórum arra is, hogy ezután mit teszünk. Erről szólt a júniusi félnapos Innovációs Nap, ami a Power-to-Gas

Hungary Kft. és a BME rendezésében zajlott le a BME R épületében, 25 meghívott résztvevővel.

Az esemény apropóját Laurens Mets, a University of Chicago professzorának budapesti látogatása adta. Mets professzor kutatócsoportja izolálta a Power-to-Gas Hungary Kft. által is használt metanizáló ősbaktériumot (biokatalizátort). Bár több mikroorganizmus is képes arra, hogy széndioxidból és hidrogénből metánt állítsanak elő, a chicagói csoport által szabadalmaztatott *Methanobacter Thermoautotrophicus* törzs több területen is jobban teljesít konkurenseinél, ilyenek a jóval magasabb konverziós ráta (a betáplált széndioxid 96 %-át metánná tudják alakítani), ellenállok azon szennyezőkkel szemben, amik általában megtalálhatók a különféle forrásokból nyert széndioxidban, valamint az átalakítás sebessége is nagyon gyors. Emellett a mikroorganizmusok képesek az önfenntartásra és szaporodásra, így a hagyományos kémiai katalizátorokkal ellentétben nincs szükség arra, hogy időnként cseréljék-pótolják őket.

Az Innovációs Nap az előadásból, az előadáshoz kapcsolódó vitából, majd egy szabad, egy órás „brain-storming”-ből állt. Az elhangzottak nagymértékben elősegítették, hogy körvonalazódjanak a következő egy-két év kutatási és fejlesztési irányai.

Az eseményen a Power-to-Gas Hungary Kft., a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem három kara (GPK, VIK,



Pillanatképek a Power-to-Gas Innovációs Napról

VBK), a Pannon Egyetem Georgikon Kara, két akadémiai kutatóközpont (MTA Energetikai Kutatóközpont, MTA Természettudományi Kutatóközpont), az Innovációs és Technológiai Minisztérium, az MVM, az ELMŰ, a Tungfram, valamint a Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület szakemberei és képviselői voltak jelen.

Power-to-Gas laboratóriumi workshop

A Power-to-Gas Hungary Kft. által használt metanizációs technológia másfél évtizede született meg egy chicagói laboratóriumban, egy kis, kb. egy literes üvegedényben. Ezután tíz év alatt több lépésben jutottak el addig, hogy jelenleg már létezik egy, az Electrochaea által épített és működtetett 1 MW teljesítményű (a megadott teljesítmények a vízbontó bemenő teljesítményét jelentik) ipari méretű berendezés, amely egy Koppenhága melletti szennyvíztelep biogázának széndioxidját alakítja át metánná.

A 2016-ban alakult Power-to-Gas Hungary Kft. hasonló utat követve először egy laboratóriumi berendezést épített fel, amin a nagyobb berendezés kifejlesztéséhez szükséges célzott kutatásokat végeznek, mint pl. a megújuló által megtermelt villamosenergia tárolásánál fontos szakaszos működés problémái (gyors kikapcsolás-bekapcsolás).

A minél szélesebb körű kutatói-fejlesztői háttér létrehozásának egyik lépéseként az érdek-

lődő kutatók meglátogatták a Power-to-Gas Hungary Kft. jelenlegi laboratóriumát; a 700 W-os kísérleti berendezés a Vértesi Erőmű oroszlányi telephelyén működik.

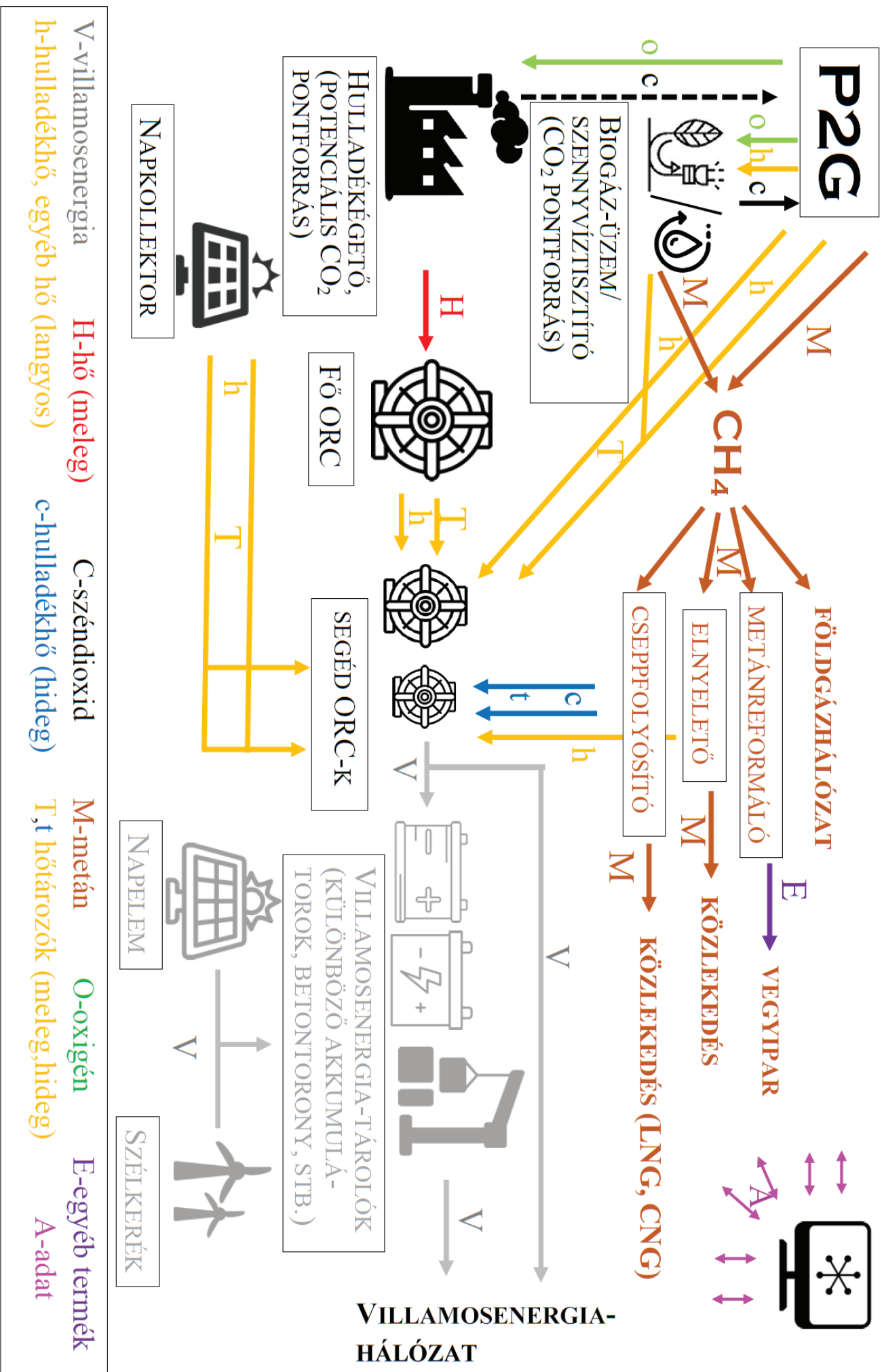
A látogatáson a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, az MTA Energetikai Kutatóközpont, az MTA Természettudományi Kutatóközpont és a Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület szakemberei vettek részt.



És amerre tartunk: ipari méretű Power-to-Gas állomás Dániában, a laboratóriumi üvegedényt egy 10 méteres torony váltotta fel



A Power-to-Gas Hungary Kft. oroszlányi laboratóriuma



A P2G Kutatási és Innovációs Központ – egy Power-to-Gas alapokra épülő, komplex. energiatárolási kutatóközpont - tematikus terve (ld. Imre és mtsai: Egy Power-to-Gas alapú komplex energiatárolási kutató-fejlesztőközpont terve – kihívások, kapcsolódó kutatások, jelen szám).



disruptive solutions
for utility-scale
energy storage,
grid balancing and
carbon reuse

www.p2g.hu