# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

*Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata* *60. évfolyam 2019. 6. szám*

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat



ENERGIÁBAN
GAZDAG
BOLDOG
ÚJ ÉVET
KÍVÁNUNK!

2020

Bízza ránk
villamosenergetikai
feladatait!

**Megbízhatóság
és Tapasztalat**

HUNYADI

www.hunyadi.hu

**Jegyezze elő naptárába!**

2020 MÁRCIUS 11-12.

# KLENEN'20

## KLÍMAVÁLTOZÁS
## ENERGIATUDATOSSÁG
## ENERGIAHATÉKONYSÁG
## XIV. KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

**„Osszuk meg tapasztalatainkat, dolgozzunk együtt a természet egyensúlyának megőrzéséért"**

**Az energiahatékonysági törvény végrehajtásának tapasztalatai, energetikai audit eredmények bemutatása**

**HATÁRIDŐK:**

| | |
|---|---|
| Jelentkezés előadás tartására | – 2019. október 15. |
| Jelentkezés kiállításra és termékbemutatóra | – 2020. január 15. |
| Jelentkezés a konferenciára | – 2020. január 31. |

**VÁRJUK JELENTKEZÉSÉT!**

További információ és jelentkezés: **www.klenen.eu**

aee MAGYAR TAGOZAT — aeecenter.org

ete-net.hu

eszk.org

mi6.hu

bpmk.hu

bkik.hu

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

*Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata* *60. évfolyam 2019. 6. szám*

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

**Főszerkesztő:**
Dr. Gróf Gyula

**Olvasó szerkesztő:**
Dr. Bihari Péter

**Szerkesztőség vezető:**
Kaposvári Regina

**Szerkesztőbizottság:**
Dr. Balikó Sándor, Dr. Bihari Péter, Czinege Zoltán, Dr. Csűrök Tibor, Dr. Farkas István, Juhász Sándor, Kádár Márton Gábor, Korcsog György, Kövesdi Zsolt, Dr. Laza Tamás, Mezei Károly, Dr. Mezősi 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 szekesztőség címe:**
BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem 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**

# TARTALOM • CONTENTS • INHALT

**Tudomány * Science * Wissenschaft**

*Füzesi Dániel, Dr. Józsa Viktor*
Perdületes égő üzemének modellezése 45°-os és 60°-os perdítőelemek esetén 2
*Modeling of a swirl burner with 45° and 60° swirl vanes*
*Modellierung des Drallbrenners mit 45°und 60° Drallschaufeln*

*Kustán Réka, Dr. Imre Attila, Dr. Groniewsky Axel*
Termodinamikai szempontból ideális munkaközeg választás organikus Rankine ciklushoz 8
*Ideal working fluid selection from a thermodynamical point of view for Organic Rankine Cycle*
*Die Auswahl des thermodynamisch idealen Arbeitsmediums für den Organic Rankine Cycle*

**Energiapolitika * Energy Policy * Energiepolitik**

*Dr. Molnár László*
A globális energetika és a gázellátás kérdései 2040-ig 14
*The questions of the energy and the gas supply till 2040*
*Fragen der globalen Energetik, und der Gasversorgung bis 2040*

**Power to gas * Power to gas * Power to gas**

*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 – kihívások, kapcsolódó kutatások 17
*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*

*Zavarkó Máté*
Nemzetközi power-to-gas technológia fejlesztési projektek tanulságai 22
*Lessons of international power-to-gas technology development projects*
*Lehren aus den internationalen Power-to-Gas Technologie Entwicklungsprojekten*

*Dr. Pintér Gábor, Dr. Birkner Zoltán, Hegedűsné dr. Baranyai Nóra, Dr. Zsiborács Henrik*
A hazai energiatárolás lehetőségei 2030-ig 27
*Opportunities of energy storage in Hungary*
*Möglichkeiten von Energiespeichern in Ungarn*

*Dr. Csedő Zoltán*
A power-to-gas technológiafejlesztés üzleti modellje Magyarországon 30
*Business Model of Power-to-Gas technology development in Hungary*
*Geschäftsmodell der Power-to-Gas T echnologieentwicklung in Ungarn*

**Kőolaj * Crude Oil * Erdöl**

*Szilágyi Zsombor*
Mi lesz a kőolaj jövője? 34

**Klímaváltozás * Climate Change * Klimawandel**

*Szilágyi Zsombor*
A levegő páratartalma és a klímaváltozás 36

**Hírek * News * Nachrichten**

*Wiegand Győző 85 éves* 39
*Győző Wiegand is 85 years old*
*Győző Wiegand is 85 years old*

Stróbl Alajos 80 éves 40
*Alajos Stróbl is 80 years old*
*Alajos Stróbl is 80 years old*

Korcsog György 75 éves 40
*György Korcsog is 75 years old*
*György Korcsog is 75 years old*

*A folyóirat szerkesztésénél különös figyelmet fordítottunk a környezetvédelmi szempontokra!*

**A beküldött kéziratokat nem őrizzük 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.**

# Perdületes égő üzemének modellezése 45°-os és 60°-os perdítőelemek esetén

**Füzesi Dániel**
*energetikai mérnök; fuzesi@energia.bme.hu*

**Józsa Viktor**
*okl. gépészmérnök; jozsa@energia.bme.hu*

**Napjaink energetikája nagy hangsúlyt fektet a megújuló energiaforrások alkalmazására. A modern, stacionárius égők konstrukciójának egyik legfontosabb eleme a perdítőelem, mely elősegíti a homogén keverékképzést, így az alacsony károsanyag-kibocsátást míg az üzemi tartomány széles marad. Korábbi vizsgálataink során beláttuk, hogy a perdületes égő modellezése tranziens megközelítést igényel a jelenség kvázistacionárius volta miatt. A jelen cikkben részletezett vizsgálat célja egy valós perdítőelem geometria égésre gyakorolt hatásának elemzése két különböző lapátszögállására. A modellezés során a perdítőelem környezete körüli áramlást tetra cellákkal bontottuk fel, mely kimeneti értékeit az égés bemenő paramétereként adtuk meg a tüzelőtérben. Az eredményeket a kapcsolódó, megépült berendezés lángképeivel validáltuk földgáztüzelés esetén. Továbbá két biogáz tüzelését is modelleztük.**

*

**Nowadays, the energy industry favors the utilization of renewable energy sources. The key element of the modern, steady-operating burner is the swirler that facilitates the formation of the homogeneous fuel-air mixture while it ensures a wide operating range. It was concluded in previous works that the modeling of a swirl burner requires transient modeling approach since the phenomenon is quasi-steady. The aim of this paper was the analysis of the effect of an existing swirler at two vane angles on the combustion characteristics. The nearfield of the swirler was discretized by tetra cells which outlet provided the inlet conditions to the combustion chamber. The results were validated by flame images, utilizing natural gas, of the respective combustion chamber that was recently built. Also, two biogas mixtures were modeled.**

* * *

A mai modern stacionárius üzemű égőterekben, nem sugárzó lángokhoz jellemzően előkevert égést alkalmaznak, tehát a levegő-tüzelőanyag keverék már a lángfront előtt kialakul. Az ilyen égők dinamikus problémáit átfogóan Huang és Yang tárgyalják [1]. A perdítőelemek és perdületes égők tervezését és áramlástechnikai-tüzeléstechnikai jellemzőit Beér János és Chigier [2] foglalták össze. Mivel a perdítőelemes rendszerű égők nagy népszerűségre tettek szert az elmúlt időszakban, elsősorban a kedvező károsanyag kibocsátásuk és a széles üzemi tartományuk miatt, Khandelwal és munkatársai a közelmúltban összefoglalták a főbb tervezési irányelveket, melyek az évek során születtek, illetve a numerikus kódok valamint a jelentősen megnövekedett számítási kapacitás lehetővé tett [3].

A perdületes áramlást jellemző leíró dimenziótlan mennyiség a perdületszám, *S,* mely perdületes áramlás perdület tengelyirányú áramából *($G_\alpha$),* a tolóerőből *($G_z$),* valamint a keverőcső sugarából *(R)* számítható (1) alapján [2]:

$$S = \frac{G_\alpha}{G_z R}. \tag{1}$$

Agy nélküli axiális perdítőelem esetén egyenletes sebességeloszlást feltételezve és a surlódást elhanyagolva jutunk (2)-re, mely a perdületszám becslésére használható [2]:

$$S = \frac{2}{3}\left(\frac{1-\left(\frac{R_a}{R}\right)^3}{1-\left(\frac{R_a}{R}\right)^2}\right)\tan\alpha, \tag{2}$$

ahol $\alpha$ a perdítőlapátok irányszöge a forgástengelytől mérve, $R_a$ = 20 mm az agy sugara. Az irodalom megkülönböztet erősen S > 0,6 és gyengén S < 0,6 perdületes áramlást [2]. Jelen munkában erősen perdületes áramlást vizsgáltunk, mely V alakú lángot eredményez.

A stabil égést a perdületes áramlás biztosítja, melynek következtében az égőtérben – a perdületes áramlási struktúra instabilitása révén – egy belső és egy külső recirkulációs zóna alakul ki az erőegyensúly miatt [1]. A belső recirkulációs zóna biztosítja a hőtranszport jelentős részét a még elégelten komponensek felé, míg a külső recirkulációs zóna ebben a folyamatban jóval enyhébben vesz részt. A hirtelen keresztmetszet-változás miatt a keverőcső és az égőtér találkozásánál nyíróréteg jön létre, a külső recirkulációs zóna pedig virtuális diffúzorként szolgál [1]. A perdítőelem lapátozása lehet axiális és radiális, valamint több perdítőelem alkalmazása esetén előfordulnak vegyes megoldások, továbbá azonos és ellentétesen perdítő kialakítások is. A lapátkialakítások egyenesek vagy íveltek lehetnek, a kísérleti berendezésben az előbbi található, így számításaink során ezt vizsgáltuk.

A tüzelőberendezések prediktív elemzése az igen összetett fizikai-kémiai folyamatok miatt a mai mérnöki eszköztárból legkönnyebben numerikus áramlástani modellezés segítségével valósítható meg. Mivel a hőfelszabadulás megfelelő közelítése megköveteli legalább néhány tíz anyag figyelembe vételét a kémiai reakciókhoz kötődően, ezért az azonos cellaszámhoz tartozó légáramlás modellezéséhez képest több nagyságrenddel nagyobb számítási kapacitás szükséges. Az égést részlegesen előkevertként modelleztük, a kémiai reakciókat pedig termokémiai valószínűségi sűrűségi függvény segítségével közelítettük [4], melyet a szakirodalomban is elterjedten használnak [5].

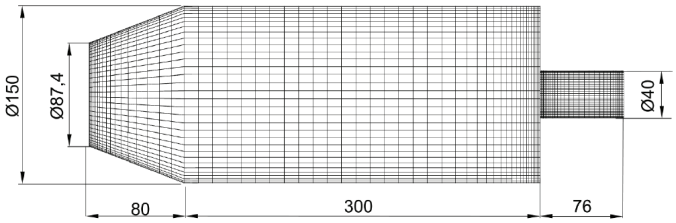
Jelen munkában referencia tüzelőanyagként földgázt használtunk, mivel ennek égési jellemzői jól ismertek a szakirodalomban. Így elsődlegesen a földgáz esetén vizsgáltuk a perdítőelemek hatását, illetve validáltuk a modellt szintén földgázt tüzelve. Kitekintésként biogáz tüzelést vizsgáltunk a továbbiakban, melyet szerves anyagok anaerob bomlásával állítanak elő. Fő komponensei a $CH_4$, $CO_2$, $N_2$, $H_2$, valamint kisebb arányban egyéb összetevők [6]. A komponensek közül a $CO_2$ és a $N_2$ növeli a gyulladási időt, csökkenti az adiabatikus lánghőmérsékletet, melyeket a $H_2$ tartalom

ellensúlyoz. Ennek okán egy $H_2$ nélküli, és egy azt tartalmazó keveréket szimuláltunk és értékeltünk a tiszta földgáztüzeléssel kapott eredmények tükrében.

## A modell bemutatása

A legegyszerűbb megközelítés, melyet korábban mi is alkalmaztunk [7], a sebességkomponensek perdítő irányszögének megfelelő megadása. Cikkünkben viszont a teljes perdítőelem geometriát figyelembe vesszük. Az égés a turbulencia miatt nem egyszerűsíthető 2D-s vizsgálati térre, hiába a geometria és a peremfeltételek szimmetriája. Így 3D-s modellt szükséges alkalmazni. A perdületes áramlás kvázistacionárius jellege miatt tranziens számítás szükséges [8], ami jelentős számítási erőforrásigénnyel bír. Ennek következtében a modellt szétbontottuk egy perdítőelem-keverőcső, valamint egy keverőcső-égőtér geometriára. Az előbbi részegység esetén a perdítőelem körüli áramlás megfelelő felbontásához szükséges kis cellaméretet alkalmaztunk, azonban az égőtérben jóval nagyobb cellákat használtunk, ennek eredményeképp az időlépés az utóbbi esetben jóval nagyobb lehetett, amire szükség is volt az égőtérben lelassuló áramlás miatt. A perdítőelem után egy keverőcső átmérőnyi (40 mm) szakaszt vettünk fel, ahol a perdület hatását vizsgáltuk. A keveréket Species Transport modell segítségével kezeltük [4], mely az egyes komponensek követésére szolgál, azonban itt kémiai reakciókat még nem vettünk figyelembe. A perdítőelem egyszerűsített geometriája a 2. ábrán látható a térbeli diszkretizációval együtt. A perdítőelemet és az ezt körülvevő térrészt tetra hálóval írtuk le a geometria bonyolultsága miatt, melyhez strukturált hexa hálót kapcsoltunk a háló minőségének növelése és cellaszám csökkentésének érdekében.

A megépült kísérleti tüzelőberendezés égőtere ugyan négyzet keresztmetszetű a szenzorok fogadása és a sík betekintőüveg miatt, azonban a modellezés egyszerűsítése érdekében egy hengeres geometriát építettünk meg a felületeknek megfelelő hossz, illetve átmérő mérettel. A geometria és az égőtér strukturált hexahálója az 1. ábrán látható. Annak érdekében, hogy elkerüljük a visszakeverést a kilépésnél, egy konfúzoros szakaszt illesztettünk az égőtér végére, ahol a kilépő felületet a kontinuitás alapján az átlagos sebességértékhez viszonyítva határoztuk meg, figyelembe véve a hőfelszabadulást és a veszteségeket.

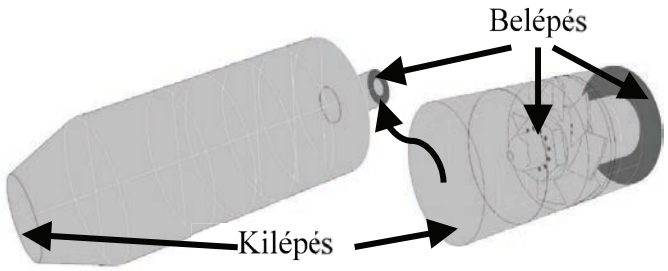



*1. ábra.* **A tüzelőtér geometriájának és hálójának oldalnézete**

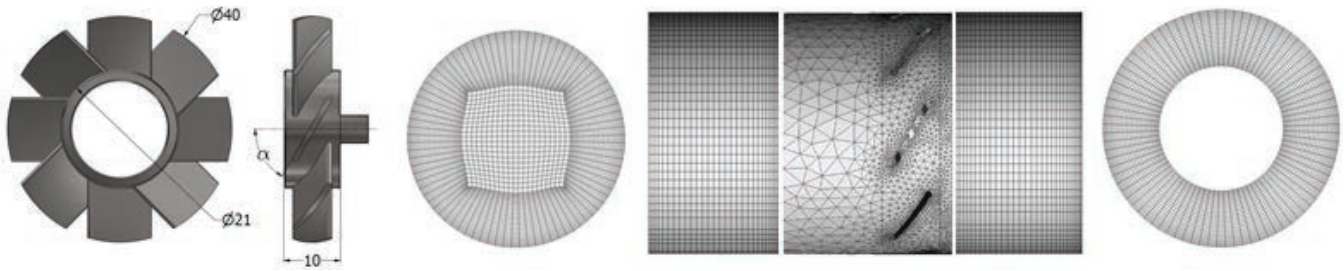
Számításainkat Ansys Fluent szoftverkörnyezetben végeztük el. A tranziens számítások kezdeti feltételét egy megelőző stacionárius számítás eredményéből vettük fel a gyorsabb konvergencia érdekében. A peremfeltétételek a két vizsgálati térfogat esetén a 3. ábrán láthatóak. A falakra harmadfajú termikus peremfeltételt adtunk meg kívülről, a természetes áramláshoz tartozó hőátadási tényezőt [9] alapján határoztuk meg. A hősugárzás a P-1 sugárzási modell segítségével vettük figyelembe, mely a háromatomos gázokat veszi figyelembe [4]. A perdítőelem, valamint a fúvókák falain adiabatikus termikus feltételt használtunk. A perdítőelem modell kilépő felületén Outflow peremfeltételt, az égőteret tartalmazó ellenőrző térfogat esetén pedig Pressure Outlet feltételt alkalmaztunk. A belépő peremfeltételeknél tömegáram belépést adtunk meg, melyek értékeit sztöchiometriai számítások alapján határoztunk meg az 1. táblázatban részletezett tüzelőanyag-összetétel alapján. Az égéshez szükséges légmennyiséget 1,15-ös légfelesleg tényező mellett határoztuk meg, mely a perdítőelem előtti körgyűrűn lép be, míg a gáz 12 apró fúvókán. A tüzelőteljesítmény minden esetben 18 kW volt. A belépő közeghőmérséklet minden esetben 20 °C volt. Az egyes komponensek hőmérsékletfüggő anyagjellemzőit [10]-ből vettük 1 bar környezeti nyomás esetén, és illesztettünk görbét a pontokra.

*1. táblázat.* A számítás során használt tüzelőanyagok térfogati összetétele [11,12]

| Komponensek | Földgáz | BG40 | BG32H20 |
|---|---|---|---|
| $CH_4$ | 0,96 | 0,4 | 0,32 |
| $C_2H_6$ | 0,02 | 0 | 0 |
| $C_3H_8$ | 0,006 | 0 | 0 |
| $C_4H_{10}$ | 0,003 | 0 | 0 |
| $N_2$ | 0,011 | 0 | 0 |
| $H_2$ | 0 | 0 | 0,2 |
| $CO_2$ | 0 | 0,6 | 0,48 |




*3. ábra.* **Tüzelőtér modell (balra) és égőtérmodell (jobbra) a peremfeltételekkel, valamint a hálófüggetlenségi vizsgálat során használt értékelési tartománnyal**




*2. ábra.* **A perdítőelem modellje és a kapcsolt tetra-hexa háló**

A hálófüggetlenségi vizsgálatok alapján a perdítőelem modellnél egy 705500 cellaszámú hálót 18,6-es maximális $y^+$ értékkel, az égőtér modellnél egy 355600 cellaszámú hálót választottunk 8-as maximális $y^+$ értékkel, melyek [13] alapján megfelelőnek mondhatók. A tranziens számítások esetén az 1 alatti Courant-szám biztosította a független megoldást. Ezek alapján az időlépést $10^{-7}$ és $10^{-5}$ másodperces értékre vettük fel a két térfogat esetében.

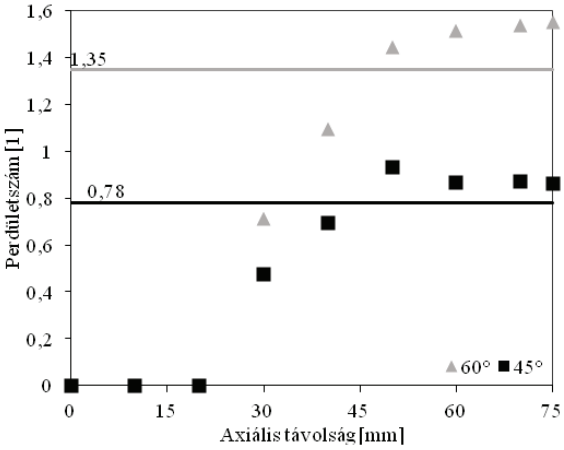
## Az eredmények bemutatása és értékelése

Először a perdítőelem áramképét értékeljük – még égés nélkül – kitérve a közelítésből adódó és a numerikus modellből számított perdületszámra. Ezt a jellemzőt az égőtér esetén is értékeljük, amit a következő alfejezetben tárgyalunk. Két biogázt, melyek esetén az egyik $CH_4$ és $CO_2$ elegye, valamint egy $H_2$-t is tartalmazó keveréket ezt követően mutatunk be. A szimulációs eredmények lángkép alapú validációját pedig az utolsó alfejezetben mutatjuk be.

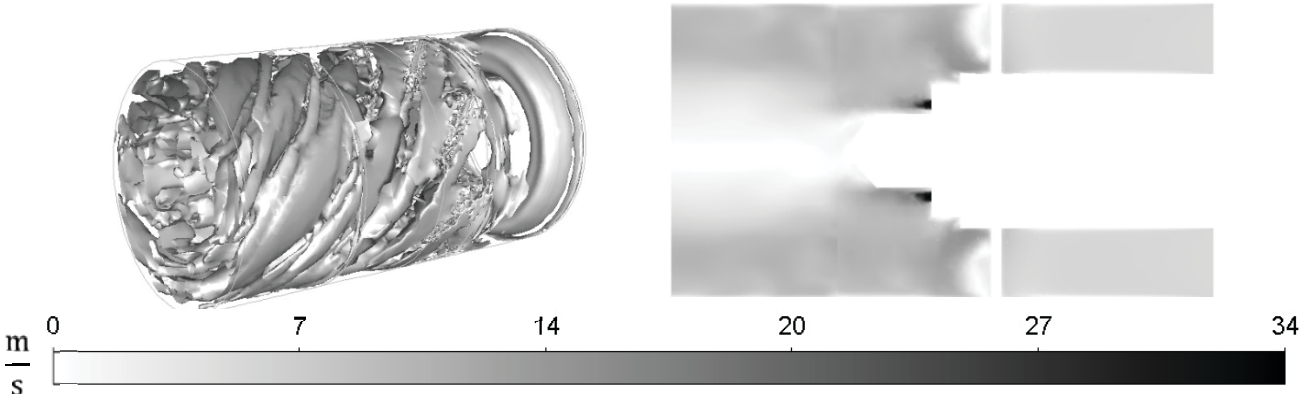
### *A perdítőelem elemzése*

A 4. és 5. ábrák a kialakult sebességamplitúdókat és örvénystruktúrákat szemléltetik $\lambda_2$ kritérium alapján a középsíkon ábrázolva a 45°-os és 60°-os perdítőelem esetén. A 60°-os perdítőelem jóval nagyobb sebességeket okoz azonos belépő tömegáram mellett. A középsíkon történt tömegáram szerinti átlagolás alapján akár 5 m/s-al nagyobb a maximális érték a 45°-os esethez képest, valamint az eloszlás egyenletesebb. Az erősebb perdület a földgázban dús keveréket jobban a belsőbb régió felé tolja, így nagyobb az esélye a visszaégésnek is, mivel a keverék jobban be tud dúsulni a forgástengelyhez közel. A bal oldali képeken az örvények alakja, a függőlegessel bezárt szöge a perdítőelemek lapátszögállását követi le. Ez alapján is megfigyelhető, hogy a 60°-os perdítőelem egy jóval nagyobb perdületű áramlást hoz létre.

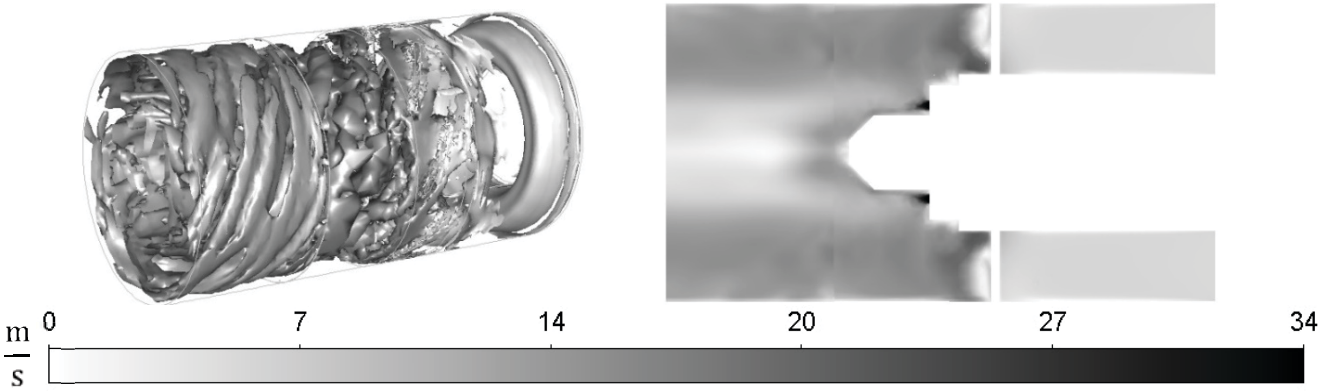
*S*-t bár (2) szerint tudjuk közelíteni ismert peremfeltételek és geometria mentén, azonban értéke (1) szerint pontosan számolható bármely keresztmetszetben a numerikus számítás esetén. Az eredményeket a 6. ábra szemlélteti, ahol a vízszintes vonalak a geometria becsült perdületszám értékét jelölik (2) alapján. A perdítőelem előtt, tehát a 25 mm-es szakaszon a tengelyirányú áramlás miatt a perdületszám zérus. Távolodva a perdítőelemtől, a tengelyirányú áramlás változásával, *S* beáll egy konstans értékre, amely 45° esetén 0,87 és 60° esetén 1,55. Tehát a szimuláció




*6. ábra.* **Perdületszám változása a hossztengely mentén**




*4. ábra.* **Örvénystruktúra $\lambda_2$ kritérium által meghatározott 1000 1/s² értékű ekvitpotenciális felületeken a sebességamplitúdó szerint színezve (balra) és sebesség eloszlás a középsíkon (jobbra) α=45°-os esetben**

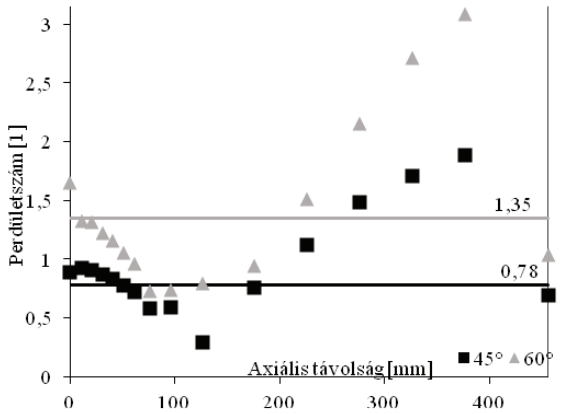



*5. ábra.* **Örvénystruktúra $\lambda_2$ kritérium által meghatározott 1000 1/s² értékű ekvitpotenciális felületeken a sebességamplitúdó szerint színezve (balra) és sebesség eloszlás a középsíkon (jobbra) α=60°-os esetben**

során nyert perdületszámok jelentősen meghaladják az irodalomban a perdítőelemszögekhez tartozó értékeket, melyek alapján a perdület jóval erősebb. (2) és a hasonló, geometriai perdületszám becslésére szolgáló képletek helyességét egyébként az irodalomban is kritizálták már mások [14,15], azonban hasonlóan univerzális és egyszerűen alkalmazható eljárást viszont még senki nem mutatott be. Így *S* helyességének értékelése is validációt igényel, melyet lézeres méréstechnikával lehet leginkább megvalósítani [16].

### *A tűztér elemzése*

A perdítőelem utáni keverőcső kilépő felületen kialakult időátlagolt sebességeloszlás, gáztömegtörteloszlás, túlnyomás-eloszlás, valamint a hőmérséklet-eloszlás a tüzelőtér-modell belépő felületén volt megadva. Mivel a háló sűrítése és felépítése a két felületen azonos volt, nem okozott problémát az eredmények illesztése. A tűztérben a perdületszám alakulását a hossztengely mentén a 7. ábra mutatja. A perdületszámok a geometriai értékek felett vannak továbbra is kezdetben, melynek oka a valós geometria és beömlés modellezése.



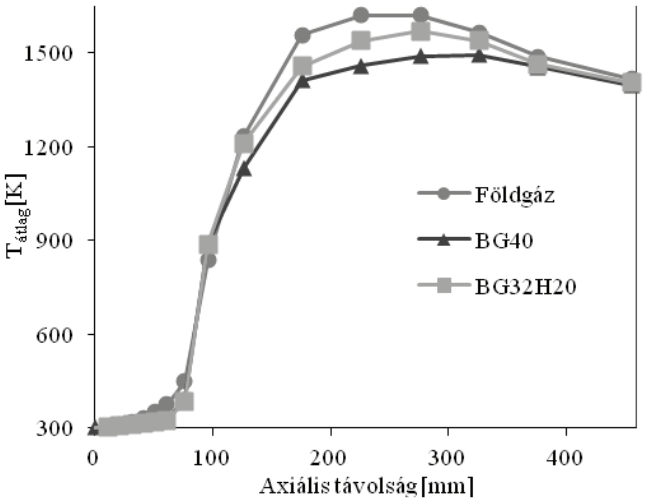

*7. ábra.* **Perdületszám a hossz-mentén α=45°-os és α=60°-os perdítőelemnél a keverőcsőben és az égőtérben**

Az égés megindulásával a perdületszám értéke csökken, mivel az axiális erő megnő a gáz tágulásával együtt. A közeg belassulása mentén a keresztmetszetugrás után az axiális erőkomponens a kontinuitás következtében lecsökken, így a perdületszám ismét növekedésnek indul.

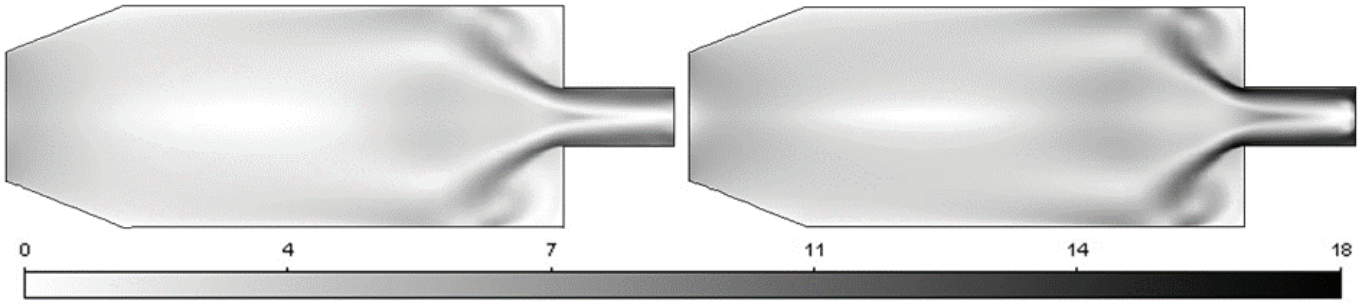
A 8. ábrán a sebességamplitúdó, míg a 9. ábrán a hőmérséklet-eloszlás kontúrja látható. Itt is megfigyelhető nagyobb perdület esetén a nagyobb sebességmaximum. Továbbá jól elkülöníthetőek a stabil égést biztosító recirkulációs zónák. A nagy hőmérséklet-gradiens utal a hőfelszabadulásra.

### *Biogáz tüzelés*

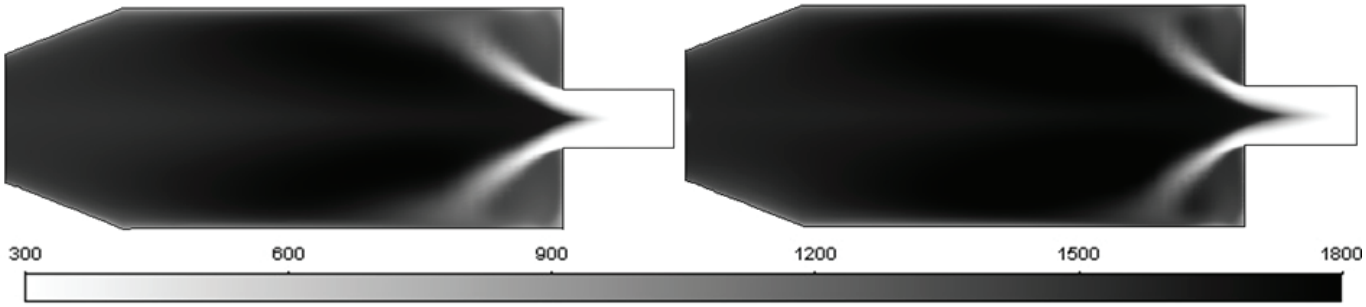
A 10-11. ábra az 1. táblázatban már ismertetett gázok hossz menti felületeken tömeg szerint átlagolt hőmérséklete és sebessége látható. A biogázok vizsgálatát kizárólag a 60°-os perdítőelemeken végeztük el. Esetünkben az égés épp a keverőcső végénél kezdődik,



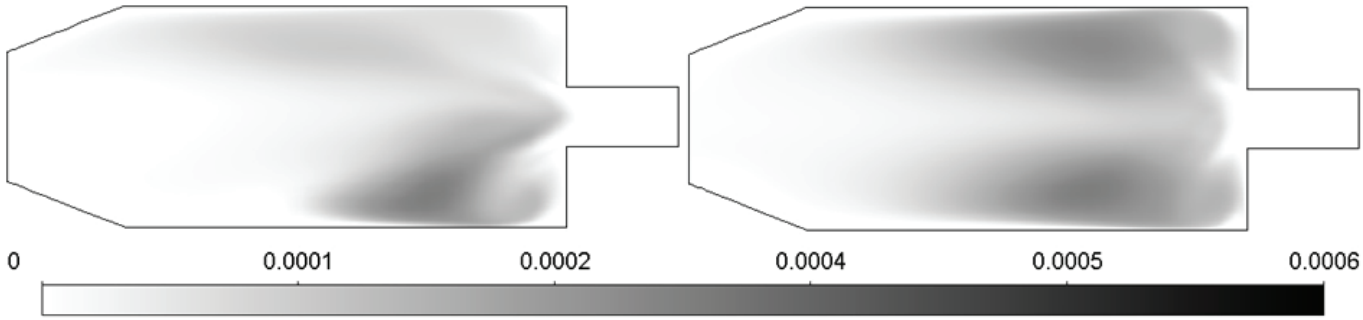

*10. ábra.* **Átlaghőmérséklet a hossz mentén α=60°-os perdítőelem esetén a vizsgált tüzelőanyagokra**



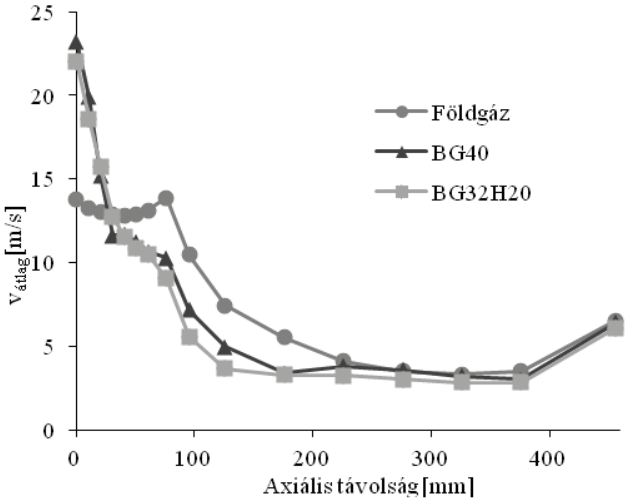

*8. ábra.* **Sebesség-eloszlás [m/s] a középsíkon α=45°-os és α=60°-os perdítőelemnél a keverőcsőben és az égőtérben**




*9. ábra.* **Hőmérséklet-eloszlás [K] a középsíkon α=45°-os és α=60°-os perdítőelemnél a keverőcsőben és az égőtérben**




*12. ábra.* **OH* tömegkört-eloszlás a középsíkon BG40 (balra) és BG32H20 esetén (jobbra)**



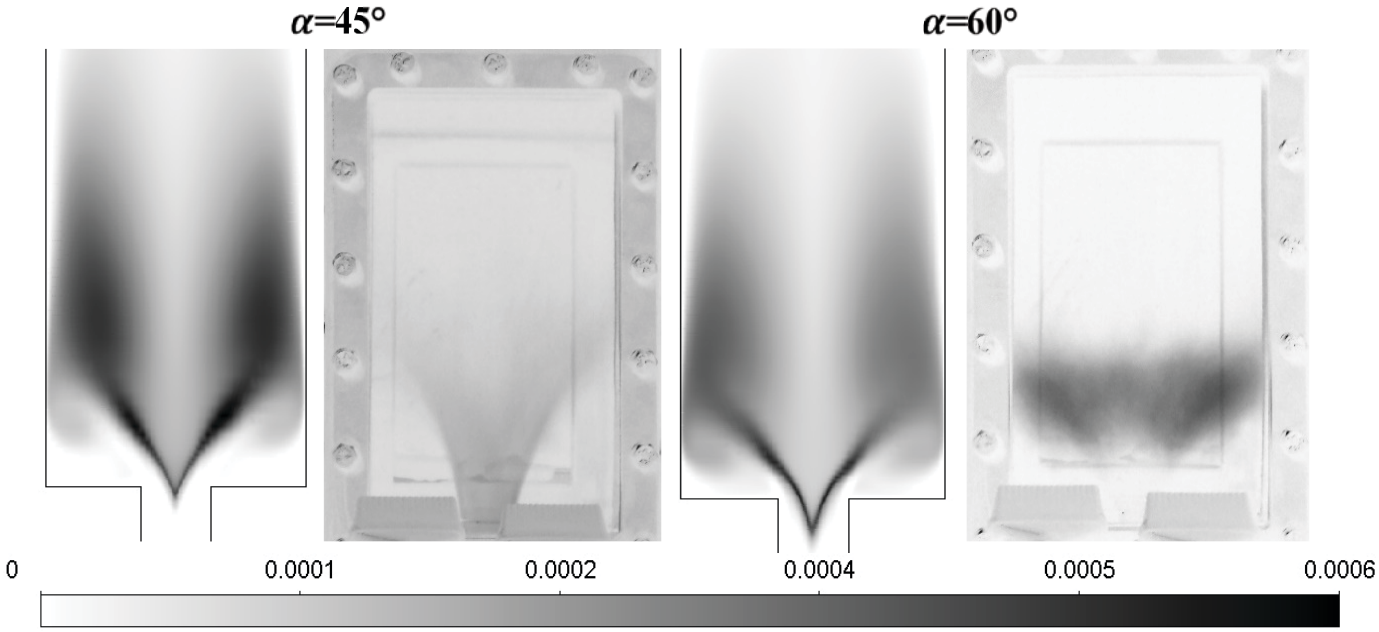

*11. ábra.* **Átlagsebesség-amplitúdó a hossz mentén α=60°-os perdítőelem esetén a vizsgált tüzelőanyagokra**

ami a jelenlegi térfogatban 76 mm-es axiális távolságnak felel meg. Az átlaghőmérséklet közel azonos a három esetben, a BG32H20 jobban közelíti a földgázt, melyet a kisebb $CO_2$ és főként a $H_2$ tartalom okoz. A sebesség értékek a V alak után ugyanazon értékhez tartanak. A kezdeti értékek magasabbak a biogázok esetén a nagyobb tömegéram miatt, melyeket a $CO_2$ tartalom mérsékel.

A 12. ábra az OH*-eloszlást mutatja, mivel ez a változó áll legközelebb a hőfelszabaduláshoz a CH* mellett [17]. Földgáztüzelés esetén ez a 13. ábrán található. Ezek alapján mindhárom esetben kialakul egy V alakú láng, mely mentes a visszaégéstől. Az OH* koncentráció a biogázok esetén alacsonyabb a kevesebb metán tartalom miatt, míg a $H_2$ tartalom egy erősebb koncentrációt és stabilabb égést biztosít.

### *Validáció*

A perdítőelem és az égőtér szimulációjának validációját elsődlegesen a kísérleti berendezésen végzett mérések mentén végeztük el. A 13. ábrán a földgáztüzelés mérési és számítási eredményei láthatók 18 kW-os tüzelőhőteljesítmény esetén. Kijelenthető, hogy a valós lángot minőségileg jól közelíti mindkét lapátszögállású perdítőelem. Nagyobb perdület esetén a közeg jobban felül az égőtér falára, a láng jobban szétnyílik. Az alacsony teljesítmény miatt kevésbé intenzív a nyírás, így az égés is, emiatt az OH* koncentrációk is alacsonyabbak. Az egyezés 30 kW esetén is megmaradt, aminek a bemutatásától most eltekintünk.




*13. ábra.* **Hőmérséklet-eloszlás [K] a középsíkon α=45°-os és α=60°-os perdítőelemnél a keverőcsőben és az égőtérben**

A minőségi értékelés mellett a mennyiségi összehasonlítást az adiabatikus lánghőmérséklet segítségével végeztük el (3) alapján:

$$t_{ad} = \frac{\dot{Q}_{tüz}}{\dot{m}_{tüz} \cdot \mu_V \cdot \bar{c}_{pfg}} + t_{ref}, \quad (3)$$

ahol $\mu_V$ a tömegre fajlagosított füstgázmennyiség, $\dot{Q}_{tüz}$ tüzelőhőteljesítmény, $t_{ref}$ a környezeti és a belépő 20 °C-os referenciahőmérséklet. A $\bar{c}_{pfg}$ átlagos füstgázfajhőt a numerikus eredményekből származtattuk és analitikusan visszaellenőriztük. Az adiabatikus lánghőmérsékletet az egyes esetek maximális hőmérsékletével, valamint a 11. ábrán is látható hossz menti keresztmetszeteken tömeg szerint átlagolt maximális hőmérséklet értékekkel hasonlítottuk össze. Az eredményeket a 2. táblázat tartalmazza. Mivel az adiabatikus lánghőmérséklet számítás nem veszi figyelembe a keveredést, az áramlási teret, a lokális légfelesleg-tényezőt, a környezettel történő hőcserét, így a magas hőmérsékletek miatt már jelentős hősugárzást sem az értékek számottevően magasabbak a szimulációs eredményekhez képest.

*2. táblázat.* Maximum szimulált, adiabatikus láng, és szimulált tömegátlagolt hőmérsékletek

| Eset | $T_{max}$ [K] | $T_{ad}$ [K] | $T_{átl,\,max}$ [K] |
|---|---|---|---|
| Földgáz, 45° | 1807 | 2043 | 1640 |
| Földgáz, 60° | 1770 | 2048 | 1620 |
| BG40, 60° | 1743 | 1763 | 1489 |
| BG32H20, 60° | 1704 | 1822 | 1569 |

## Összefoglalás

Jelen cikk 45°-os és 60°-os lapátszögállású perdítőelemek lángképre gyakorolt hatását mutatta be numerikus áramlástani elemzés segítségével. A teljes geometriát két részre bontottuk: egyik felében tüzelés nélkül a perdítőelem közvetlen hatását elemeztük, másik felében az égést is szimulálva az előbbi modellen kialakult sebesség-, hőmérséklet-, nyomás-, koncentrációeloszlást a belépő keresztmetszetre vetítve. Először földgáztüzelést vizsgáltunk, amit lehetőségünk nyílt méréses úton validálni, majd két biogázt értékeltünk $H_2$ tartalommal, illetve anélkül azonos peremfeltételek mellett. A numerikusan származtatott perdületszám értékek az irodalmi becslésnél magasabb számértékű volt. Az égés modellezése és a tüzelőberendezéses vizsgálatok alapján is megfigyelhető, hogy a 60°-os perdítőelem esetén a láng könnyebben feltapad a tüzelőtér falára, ami a tűztér tervezésénél fontos szempont. Az eredmények alapján egyértelműen kijelenthető, hogy azonos tüzelési teljesítményen a biogáz is képes hasonló égésminőséget biztosítani, mint a földgáz, mely eredmény a későbbi méréses és numerikus vizsgálatok szempontjából. Természetesen a tüzelőanyagból jóval nagyobb tömegáramot kell alkalmazni a kisebb fűtőérték miatt, viszont a károsanyag-kibocsátás alacsonyabb lehet a kisebb adiabatikus lánghőmérsékletnek köszönhetően.

## Köszönetnyilvánítás

Jelen cikk a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal támogatásával a FIEK 16-1-2016-0007 és az OTKA-FK 124704 projektek támogatásával készült, a számításokhoz használt Quadro P6000-es kártyát az NVIDIA Corporation adományozta a BME Tüzeléstechnikai Kutatócsoportjának.

## Irodalmi hivatkozások

[1] Huang Y, Yang V. Dynamics and stability of lean-premixed swirl-stabilized combustion. Prog Energy Combust Sci 2009;35:293–364. https://doi.org/10.1016/j.pecs.2009.01.002.

[2] Beér JM, Chigier NA. Combustion Aerodynamics. London: Robert E. Krieger publishing company, inc.; 1972.

[3] Khandelwal B, Lili D, Sethi V. Design and study on performance of axial swirler for annular combustor by changing different design parameters. J Energy Inst 2014;87:372–82. https://doi.org/10.1016/j.joei.2014.03.022.

[4] ANSYS Fluent Theory Guide. Canonsburg: ANSYS, Inc.; 2017. https://doi.org/10.1016/0140-3664(87)90311-2.

[5] Samiran NA, Chong CT, Ng JH, Tran MV, Ong HC, Valera-Medina A, és mtsai. Experimental and numerical studies on the premixed syngas swirl flames in a model combustor. Int J Hydrogen Energy 2019;44:24126–39. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.07.158.

[6] Khan UI, Othman MHD, Hashim H, Matsuura T, Ismail AF, Rezaei-dashtarzhandi M, és mtsai. Biogas as a renewable energy fuel – A review of biogas upgrading , utilisation and storage. Energy Convers Manag 2017;150:277–94. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.08.035.

[7] Füzesi D, Józsa V. Perdületszám égésre gyakorolt hatásának elemzése. OGÉT 2019 Konf. kiadvány, Nagyvárad: 2019, o. 133–6.

[8] Füzesi D, Józsa V. Numerical analysis of biogas combustion in a lean premixed swirl burner. 2019 7th Int. Youth Conf. Energy (IYCE), IEEE Xplore Digit. Libr., Bled, Slovenia: 2019.

[9] Martin M, Holge K, szerkesztő. VDI Heat Atlas. 2. kiad. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2010.

[10] NIST Chemistry WebBook é. n. https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/ (elérés 2019. október 20.).

[11] Faramawy S, Zaki T, Sakr AA-E. Natural gas origin, composition, and processing: A review. J Nat Gas Sci Eng 2016;34:34–54. https://doi.org/10.1016/j.jngse.2016.06.030.

[12] Mameri A, Tabet F. Numerical investigation of counter-flow diffusion flame of biogas-hydrogen blends: Effects of biogas composition, hydrogen enrichment and scalar dissipation rate on flame structure and emissions. Int J Hydrogen Energy 2015:1–12. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.035.

[13] Casey M, Wintergerste T. ERCOFTAC Best Practice Guidelines. Fluid Dynamics Laboratory Sulzer Innotec; 2000.

[14] Galley D, Ducruix S, Lacas F, Veynante D. Mixing and stabilization study of a partially premixed swirling flame using laser induced fluorescence. Combust Flame 2011;158:155–71. https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2010.08.004.

[15] Durox D, Moeck JP, Bourgouin JF, Morenton P, Viallon M, Schuller T, és mtsai. Flame dynamics of a variable swirl number system and instability control. Combust Flame 2013;160:1729–42. https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2013.03.004.

[16] Candel S, Durox D, Schuller T, Bourgouin J-F, Moeck JP. Dynamics of Swirling Flames. Annu Rev Fluid Mech 2014;46:147–73. https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-010313-141300.

[17] Panoutsos CS, Hardalupas Y, Taylor AMKPMKP. Numerical evaluation of equivalence ratio measurement using OH* and CH* chemiluminescence in premixed and non-premixed methane-air flames. Combust Flame 2009;156:273–91. https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2008.11.008.

# Termodinamikai szempontból ideális munkaközeg választás organikus Rankine ciklushoz

**Kustán Réka**
*doktorandusz, kustan@energia.bme.hu*

**Dr. Groniewsky Axel**
*egyetemi docens, groniewsky@energia.bme.hu*

**Dr. Imre Attila**
*egyetemi tanár, imreattila@energia.bme.hu*

**Egy új módszer kerül bemutatásra az – expanzió szempontjából – ideális munkaközeg kiválasztására egy, a maximum és minimum hőmérséklettel reprezentált adott hőforrás-hőnyelő párhoz. A módszer alapját az új munkaközeg-osztályozási módszer képezi, amely az egyes karakterisztikus pontok hőmérséklet-entrópia térben való elhelyezkedése alapján a közegeket különböző kategóriákba sorolja be. Általában kiválasztható egy olyan létező munkaközeg, ahol egy felső és egy alsó hőmérséklet közötti ideális adiabatikus (izentrópikus) expanzió lehetséges oly módon, hogy a kiindulási és a végállapot egyaránt telített gőz állapotban, vagy annak közvetlen közelében van és az ideális (izentrópikus) expanzió végig a túlhevített száraz gőz régióban fut. A cseppek és a túlhevített száraz gőz jelenlétével kapcsolatos problémák az expanzió végpontjában elkerülhetők vagy minimalizálhatók az ezzel a módszerrel választott munkaközeg felhasználásával. Mivel a legtöbb ismert anyag esetén az optimális expanziós útvonalak alacsony hőmérsékleten találhatók, jelenleg a módszer főként kriogenikus ciklusok – amelyeket például hővisszanyerésre alkalmaznak az LNG-visszagázosítás során – ideális munkaközegének meghatározására alkalmas leginkább. Egyes anyagok azonban viszonylag magas hőmérsékleteken hasznosíthatók, ezért a módszer korlátozott módon alkalmazható más alacsony hőmérsékletű hőforrások (például geotermikus vagy hulladékhő) hasznosítására. Nyilvánvaló, hogy ez a módszer a többdimenziós optimalizálási folyamatnak csak egy részére korlátozódik, ezért a valódi munkaközegek kiválasztásánál más kritériumokkal együtt kell alkalmazni.**

*

**A new method for selecting the ideal working fluid – from the point of view of expansion route – for a given heat source and heat sink pair, represented by a maximum and minimum temperature, has been presented. The method is based on the new classification of working fluids, which classifies each fluid into different categories based on the position of the characteristic points in the temperature-entropy space. An existing working fluid can be selected where ideal adiabatic (isentropic) expansion between an upper and a lower temperature is possible with both initial and final states in a saturated vapour state (or its immediate vicinity), and the ideal (isentropic) expansion runs throughout the superheated dry steam region. Problems with the presence of droplets and superheated dry vapour at the end of the expansion can be avoided or minimized by using the working fluid selected by this method. Since the optimal expansion routes are found at low temperatures for most known materials, the method is currently best suited to determine the ideal working fluid for cryogenic cycles, such as those used for LNG regasification. However, some materials are available at relatively high temperatures, so the method can be used to a limited extent to utilize other low temperature heat sources (such as geothermal or waste heat). Obviously, this method is limited to only a part of the multidimensional optimization process, so it must be used in conjunction with other criteria when selecting real working fluid.**

* * *

## Organikus Rankine ciklus munkaközegének meghatározása

Az alacsony hőmérsékletű hőforrások hőjének villamos energiává történő átalakításához gyakran alkalmaznak szerves Rankine körfolyamatot (Organic Rankine Cycle – ORC). [1,2] Az ORC technológia valamilyen víztől különböző, többnyire szerves munkaközeget (bár gyakran ide sorolnak egyes szervetlen munkaközegeket is, mint pl. a szén-dioxid) alkalmaz, amelyek előnye elsősorban a termofizikai tulajdonságaik miatt, hogy a vizsgált alacsony hőmérsékleteken magasabb hatásfokkal képesek villamos energiát termelni, mint a hagyományos víz-vízgőz munkaközegű Rankine körfolyamat [3]. Számos ismert – és valószínűleg még több ismeretlen – alacsony forráspontú közeg létezik, melyek felhasználhatók ORC munkaközegként. Adott hőforráshoz az ideális munkaközeg kiválasztása egy multidimenziós optimalizálási probléma, melynél az optimalizálás paramétereinek egy része még csak nem is fizikai vagy technikai jellemző [1,4,5].

A többdimenziós optimalizálás csak akkor végezhető el, ha az összes alfolyamatot, melyek mindegyike egy kritériummal foglalkozik, megfelelően végrehajtják. Ebből következik, hogy szükséges a munkaközegválasztás komplex módszeréhez tartozó egyes lépések javítása. A cikkben az optimalizálási módszer azon szegmensére összpontosítunk, melynek az a célja, hogy olyan munkaközeget válaszunk ki, amellyel elkerülhető (vagy elhanyagolható hatásúvá tehető) a nedves vagy túlhevített gőzállapot megjelenése az expanzió végén. Nedvesítő munkaközeg alkalmazása mellett, ha az expanziót telített gőz állapotból indítjuk, akkor a folyamat végpontja mindenképpen a kétfázisú, nedves régióba esik. Az ebben az esetben megjelenő cseppek az expandert/turbinát fékezve csökkenthetik a körfolyamat hatásfokát, illetve idővel az expander meghibásodását okozhatják (csepperózió). Ezen problémák elkerülése érdekében lehetőség van cseppleválasztó berendezés, illetve túlhevítés alkalmazására. Szárító közeg alkalmazásával az expanziót telített gőz állapotból indítva a végpont mindenképpen az alacsony hőmérsékletű túlhevített száraz gőz állapotba esik. Itt a kondenzáció előtt a maradék hőt el kell távolítani a munkaközegből. Ez a szükséges lépés olyan problémákat okozhat, mint a hatásfok csökkenés és a kondenzátor magas hőterhelése. Annak érdekében, hogy ezek a problémák ne legyenek jelentős mértékűek, lehető-

ség van egy plusz hőcserélő úgynevezett rekuperátor beépítésére, amely lehűti a túlhevített gőzt, mielőtt az elérné a kondenzátort egyúttal a hőcserélő hideg oldalán előmelegíti a munkaközeget, mielőtt az elérné az elpárologtatót. Ezek alapján a legjobb megoldás az izentrópikus közegek alkalmazása lenne, ahol az ideális adiabatikus expanzió a telített gőz állapot mentén (vagy a közelében) futhatna a teljes folyamat során. Ilyen munkaközeg mellett, elegendő lehet egy egyszerű, két hőcserélőt, egy szivattyút és egy expandert tartalmazó ORC a hő munkává alakításához. Sajnálatos módon, ilyen ideális izentrópikus anyag nem létezik, minden ebbe a kategóriába besorolt valós közeg fordított S alakú telítettgőz oldali görbével rendelkezik *T-s* diagramon (hőmérséklet – fajlagos entrópia diagram) és nem egy végtelen meredekségű egyenessel, ami az izentrópikusságból következne.

A létrehozott módszerrel lehetséges egy olyan egy komponensű munkaközeg kiválasztása egy adatbázisból [6] mellyel az ideális adiabatikus (izentrópikus) expanzió kezdő- és végpontja is telített gőz állapotban (vagy közvetlen közelében) van. Ily módon alkalmazható a legegyszerűbb ORC elrendezés, amely csak egy szivattyút, két hőcserélőt (elgőzölögtető, kondenzátor) és egy expandert tartalmaz, elkerülve a túlhevítő, a csepleválasztó és a rekuperatív hőcserélő (rekuperátor) használatát. Abból adódóan, hogy a munkaközeg a teljes expanzió alatt túlhevített száraz gőz állapotban van, a csepperózióból adódó problémák elkerülhetők.

Jelenleg egy 28 egykomponensű közeget tartalmazó adatbázisunk van *T-s* adatokkal feltöltve, melyeket a NIST Chemistry Webbook [6] és a RefProp 9.1 [7] alapján adtunk meg. Ezen közegek többségét korábban a száraz kategóriába sorolták, azonban az új osztályozás alapján különféle izentrópikus alosztályokba tartoznak, nevezetesen az ANCMZ, az ACNMZ, az ANZCM és az ANCZM kategóriákba.

A jelenlegi munkaközegkészletből kiválasztható a termodinamikai szempontok alapján legmegfelelőbb anyag az adott ORC-hoz. A *T-s* adatok által lefedett hőmérsékleti tartományok alapján a közegek nagy részének alkalmazhatónak kell lennie főként a kriogenikus ciklusokhoz, de a megfelelő bővítések után az adatbázis elérhető lesz más hőmérséklet tartományokra (például geotermikus vagy hulladékhő alkalmazása) is.

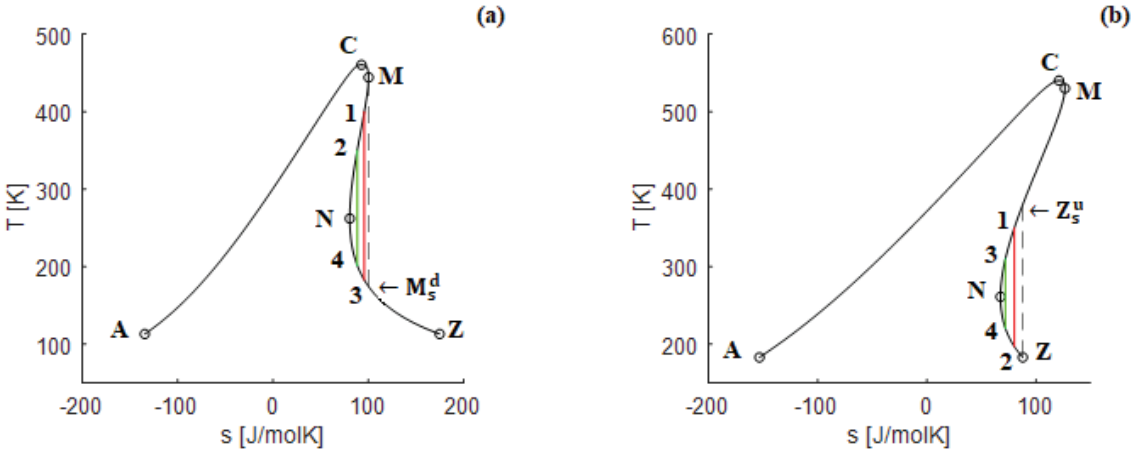
## Lehetséges expanzió utak térképe

Az új osztályozási rendszer alapján a munkaközegek a *T-s* diagramon felvett úgynevezett elsődleges és másodlagos karakterisztikus pontok entrópiasorrendje szerint kerülnek kategorizálásra.

- A és Z pontok a kezdő és vég pontjai a *T-s* diagramon felvett telítési görbének. Fizikailag ez kapcsolódik a hármasponthoz (vagy fagyásponthoz).
- A C pont a kritikus pont, a telítési görbe legfelső pontja, amely elválasztja a telített folyadék oldali görbét (A-C) és a telített gőz oldali görbét (C-Z).
- Az M és N pontok a telített gőz görbén található lokális entrópia maximum és minimum.

Az A, Z és C pontok minden közeg esetében felvehetők (ezek az elsődleges karakterisztikus pontok), azonban az M pont csak száraz és izentrópikus közegek, az N pont pedig csak izentrópikus közegek esetében létezik (ezek a másodlagos karakterisztikus pontok). Elméletileg nyolc különböző osztály létezhet, melyek közül egy nedvesítő (ACZ), kettő szárító (ACZM és AZCM) és öt izentrópikus, melynél a közegek fordított S-alakot felvevő telített gőz oldali görbével rendelkeznek (ANZCM, ANCZM, ANCMZ, ACNMZ és ACNZM). Valós anyagokat tekintve ezek közül az osztályok közül csak hatra találhatók példák, eddig se ACZM se ACNZM osztályba besorolható közeget nem tartalmaz az adatbázis [6]. Ezen valós izentrópikus közegek egy részét korábban száraznak tekintették, mivel az N pont jóval a környezeti hőmérséklet alatt található. Ezen osztályozás alkalmazásával könnyen látható kapcsolat teremthető az anyag tulajdonságai és a besorolás között [8], továbbá egyszerűen felhasználható a munkaközegek viselkedésének tanulmányozására ORC és más hasonló körfolyamatok expanziós folyamata során. [9]

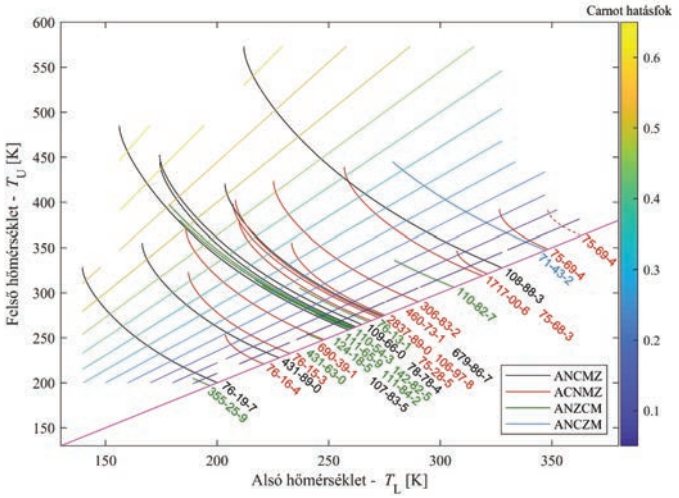
A fent említett fordított S-alak lehetővé teszi izentrópikus expanzió utak megvalósítását. Az 1. ábrán két különböző közeg T-s diagramja látható: 2-metilbután (a), heptán (b). Megfigyelhető, hogy bár egyik sem valódi izentrópikus közeg, mégis ki lehet jelölni olyan izentrópikus expanzió utakat, melyek kezdő és végpontja is telített gőz állapotban van és az expanzió során soha nem lép fel nedves állapot; ezek az 1. ábrákon a $1 \rightarrow 2$ és $3 \rightarrow 4$ jelöléssel láthatóak. Mindkét közeg esetében az összes potenciális expanzió útvonal az „öbölben" helyezkedik el, melyet a határexpanziós görbe (szaggatott szürke) választ el a diagram többi részétől. Az ANCMZ típusú közegek esetében a határvonalat az $M \rightarrow M_s^d$ expanzió út jelenti, ez igaz az ACNMZ anyagokra is. ANZCM munkaközegek esetében a korlátot a $Z_s^u \rightarrow Z$ expanzió görbe határozza meg, ugyanez vonatkozik az ANCZM típusokra is. Itt, az $M_s^d$ és $Z_s^u$ az úgynevezett harmadlagos karakterisztikus pontok, melyeket a másodlagos (M), illetve az elsődleges (Z) karakterisztikus pontok entrópia-értékeinek a szaturációs görbére való vetületeiként kapunk. Az s alsóindex a vetítés útvonalát (az s tengelyhez) mutatja, míg az u és d felsőin-




*1. ábra.* **Lehetséges izentrópikus expanzió utak ($1 \rightarrow 2$ és $3 \rightarrow 4$) ANCMZ (a; 2-metilbután) és ANZCM (b; heptán) típusú közegekhez. A korlátot adó expanzió görbe szaggatott szürke vonallal van jelölve az $M \rightarrow M_s^d$ (a) és $Z_s^u \rightarrow Z$ (b) pontok között.**

dex az eredeti ponthoz viszonyított relatív helyre utal (u: up – fel; d: down – le). Az 1. ábrán látható *T-s* diagramon az entrópia értékek mólra megadva szerepelnek tömeg helyett (azaz J/(molK)-ben J/(kgK) helyett). Noha a mérnöki alkalmazásban ez nem megszokott, a különféle munkaközegek összehasonlításához a mól alapú mennyiségek sokkal alkalmasabbak, mint a tömeg alapúak. [8]

Ezen az „öblön" belül meg lehet határozni az egyes anyagokat jellemző $T_U - T_L$ görbéket, melynek minden egyes pontja egy lehetséges izentrópikus expanzió utat jelöl a felső (U) és alsó (L) hőmérsékletek között. 28 darab, fordított S-alakú telített gőz oldali telítési görbével rendelkező közeg felhasználásával és a NIST adatbázisból (NIST Chemistry Webbook [6] és RefProp 9.1 [7]) rendelkezésre álló *T-s* diagramok segítségével létrehozható egy olyan térkép, amelyen szerepel a közegekhez tartozó összes lehetséges izentrópikus expanzió út; ez a térkép a 2. ábrán látható.




*2. ábra.* **Lehetséges izentrópikus expanziós utak $T_L - T_U$ diagramon 28 közeg felhasználásával, a közegekhez tartozó CAS-számok feltűntetésével. Az adott felső és alsó hőmérsékletekhez tartozó Carnot hatásfokokat a színskálával megadott görbék jelölik.**

A 2. ábrán látható összes – expanzió utakat jelölő – görbe alsó végpontja egy egyenesre esik, melyet az N pontok határoznak meg. Ezek a pontok a lehető legrövidebb expanzió úthoz tartoznak, $T_U = T_N + \delta$ és $T_U = T_N - \delta$, ahol $T_N$ az N ponthoz tartozó hőmérsékletet jelöli és a $\delta$ egy infinitezimálisan kicsi hőmérsékletkülönbség, $\delta \rightarrow 0$. Ebből adódik, hogy az alsó határoknak egy egyenesre kell esniük, melynek meredeksége 1, és teljesül, hogy $T_U = T_N = T_L$. Az alsó határ kijelölésével elkerülhetők az irreális $T_L > T_U$ esetek.

A különböző anyagok a jobb azonosíthatóság miatt a hozzájuk tartozó kémiai azonosító (CAS-szám) feltűntetésével kerültek megkülönböztetésre. Abban az esetben, amikor a görbék feltorlódtak, a CAS-számok a görbék sorrendjét követik cikkcakkban. A különféle osztályokhoz tartozó anyagok az ábrán különböző színnel szerepelnek; az ANCMZ-t feketével, az ACNMZ-t pirossal, az ANZCM-et zölddel és az ANCZM-et kékkel; amint már említésre került, ACNZM szekvenciájú anyagot eddig még nem találtak. További információként, a színskálával jelölt vonalak mutatják az adott felső és alsó hőmérsékletpárokhoz tartozó Carnot hatásfokokat.

Mivel a *T-s* adatok több különböző forrásból is elérhetők, a NIST-ből (NIST Chemistry Webbook [6] és RefProp 9.1 [7]) származó adatok összehasonlításra kerültek más, rendelkezésre álló adatbázisból vett értékekkel. A vizsgált 28 közeg közül egy esetben volt csak szignifikáns eltérés (CAS 75-69-4, triklór-monofluormetán, más néven R11 vagy Freon 11); az alternatív görbe (az adatok FluidProp-ból [10] származnak, TPSI modell alkalmazásával, Reynolds (1979) munkáján alapulnak) szaggatott piros vonallal van ábrázolva.

## Optimális munkaközeg meghatározása

Egy létező hőforrás esetében a körfolyamat maximális vagy felső hőmérséklete *($T_U$)* rögzített érték, amelyet a hőforrás hőmérséklete ($T_{forrás}$) és a hőfokrés nagysága ($\Delta T$, a hőcserélőre jellemző érték), határoz meg:

$$T_U = T_{forrás} - \Delta T \tag{1}$$

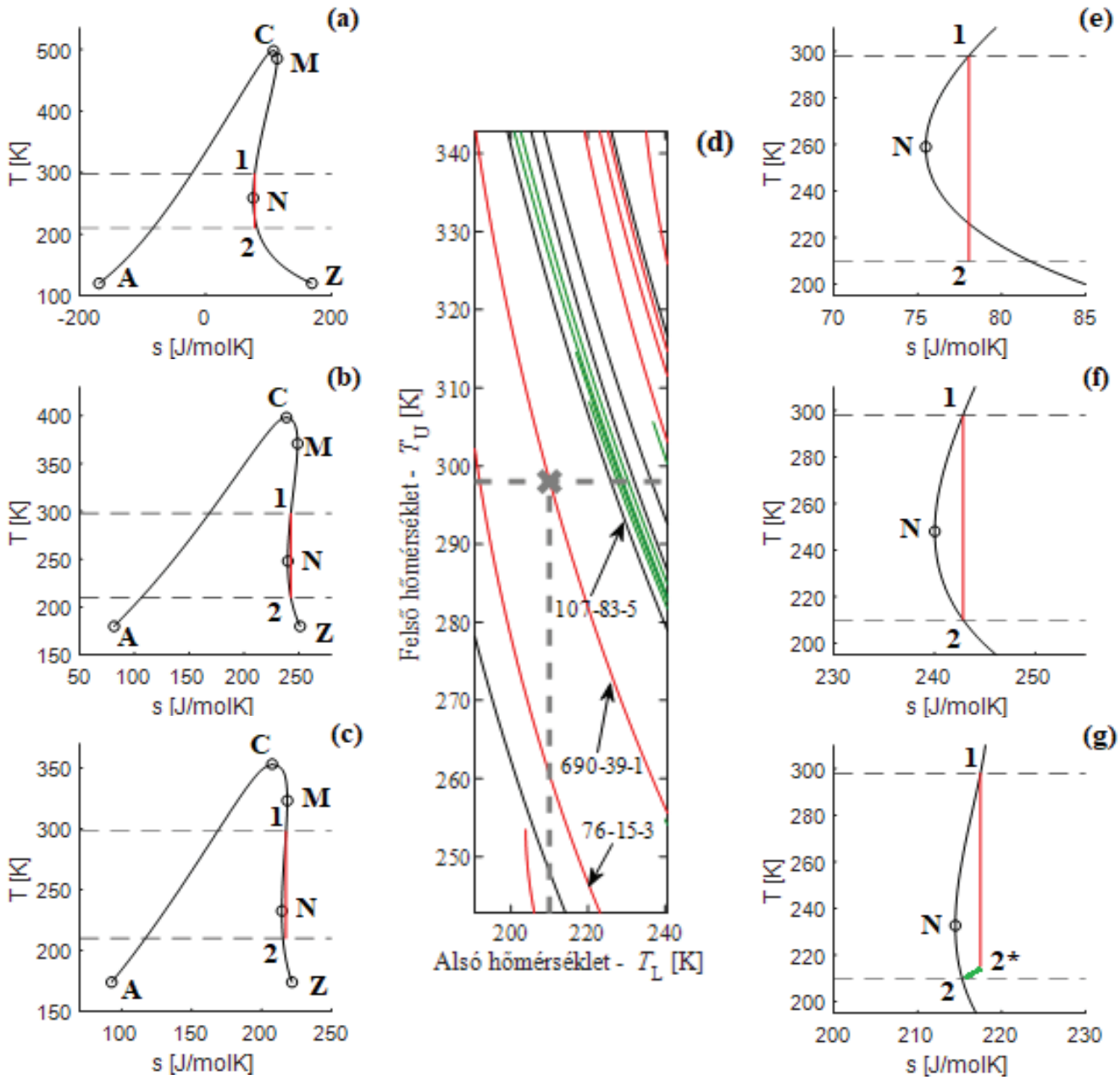
Hasonló módon, a körfolyamat legalacsonyabb vagy alsó hőmérséklete ($T_L$) meghatározható a hűtéshez használt közeg hőmérsékletével ($T_{hűtőközeg}$) és az alsó hőfokrés hőmérsékletével (nem feltétlenül egyenlő az (1) egyenletben szereplő értékkel):

$$T_L = T_{hűtőközeg} + \Delta T \tag{2}$$

Ez a ($T_U$; $T_L$) pár felhasználható egy munkapontként a 2. ábrán látható térképen egy adott hőforrás-hőnyelő pár ábrázolására.

A 2. ábrát megfigyelve jól látható, hogy az $T_L - T_U$ diagramon az alacsonyabb hőmérsékletű területen található olyan régió, ahol az expanzió utakat reprezentáló görbék besűrűsödnek. Az utóbbi időben egyre szélesebb körben elterjedt a cseppfolyósított földgáz (LNG) alkalmazása. Az LNG-terminálba hajóval érkező LNG-t visszsza kell gázosítani a konvencionális gázhálózatba történő bevezetése előtt. Ez a szükséges folyamat lehetőséget ad az úgynevezett „hideg energia" hasznosítására [11,12]. Ebben az esetben az itt nyert hideg hő alkalmas lehet egy ORC kondenzátorában a munkaközeg lehűtésére, lehetőséget adva arra, hogy hőforrásként elegendő legyen valamilyen környezeti hőmérséklet körüli hőforrás alkalmazása a már megfelelő mértékű expanzió elérése érdekében. Számos helyen nagy mennyiségű alacsony hőmérsékletű (40 °C körüli) hulladékhőt engednek ki a környezetbe, mivel nem tudják egyéb módon hasznosítani. Ennek kiküszöbölésére és a hulladékhő hasznosítására lehet egy jó megoldás a folyékony metán hűtőközeget alkalmazó ORC. A folyékony metán hőmérséklete akár 111 K is lehet (−162 °C), azonban ha egy ORC-ben a hőmérséklet 111 K-re csökken, akkor a berendezésekben a rideg törés problémája valós veszéllyé válik. A folyékony metánt hűtőközegként alkalmazva, a munkaközeg hőmérsékletét csak mérsékelt szintre csökkentve, meghatározható egy olyan expanziót leíró hőmérsékletpár, például $T_U = 298$ K és $T_L = 210$ K, amely mellett a megfelelő anyag alkalmazásával nem lépnek fel az alacsony hőmérsékletből adódó problémák. Ha az üzemi hőmérséklet egy berendezésnél −29 °C felett van, akkor elegendő hagyományos szénacél alkalmazása, −29 míg −46°C között tartományban már alacsony hőmérsékletű szénacél (LTCS: low-temperature carbon steel) szükséges és −46 °C alatt ausztenites rozsdamentes acélt érdemes használni, hogy elkerülhetők legyenek a rideg törésből származó meghibásodások [13]. Az ausztenites acél ötvözetek alkalmazása az energetikában gyakorinak mondható, a szubkritikus tartományban üzemelő gőzturbinák lapátozatát is ebből készítik.

A 3. ábra közepén (d) a 2. ábra egy kinagyított részét mutatja, amelyen a szürke kereszt a meghatározott hőforrás-hőnyelő párt reprezentálja $T_U = 298$ K és $T_L = 210$ K paraméterekkel. Jól látható,




*3. ábra.* **Expanzió adott $T_L$–$T_U$ pár (210 K, 298 K) esetén 2-metil-pentán (CAS 107-83-5) (a,e), R236fa (CAS 690-39-1) (b,f) és freon 115 (CAS 76-15-3) (c,g) munkaközegek mellett. A 2. ábra felnagyított része – a 210-298 K pontra fókuszálva – középen (d) látható. Az jobb oldali ábrák (e – g) az (a – c) diagramok kinagyított részei, az expanzió utak jobb láthatósága érdekében.**

hogy az egyik görbe pontosan áthalad ezen a ponton, név szerint az R236fa-t (CAS 690-39-1) jelölő vonal, továbbá a kívánt pont közelében kijelölhető két további munkaközeg is, ezek a 2-metil-pentán (izohexán, CAS 107-83-5) és a freon 115 (R115, CAS 76-15-3). A megadott hőmérséklethatárok közti expanzió az egyes munkaközegek esetében a 3a,e (2-metil-pentán), 3b,f (R236fa), 3c,g (freon 115) ábrákon láthatók.

Először a 2-metil-pentánt (CAS 107-83-5) lehetséges felhasználását tárgyaljuk. Ebben az esetben az expanzió végpontja a kétfázisú (nedves) mezőbe esik (lásd 6a,e ábra). Az expanzió végén a gőztartalom 0,9782 lesz, ami 2,1773% nedvességtartalomnak felel meg. A folyamat során megjelenő cseppek eróziós problémákat okozhatnak, ezen felül csökkenthetik a hatásfokot. Tekintve, hogy a gyakorlatban a 8-12%-os nedvességtartalom még elfogadható [14], az itt számolt 2,1773%-os érték nem számít olyan jelentősnek. Itt az expanzió vonal 226 K körül lép be a kétfázisú régióba, ami 16 K-el van az expanzió végpontja felett. 2-metil-pentán munkaközegnél az ideális eset – azaz telített gőz állapotból egy másik telített gőz állapotba történő expanzió – az lenne, ha az expanzió 226 K hőmérsékleten érne véget. Ez a kisebb expanzió alacsonyabb hatásfokot eredményezne, ennek alapján látható, hogy a csepperózióból származó problémát szembe kell állítani a potenciális hatásfokvesztés problémájával, mielőtt elvetnénk a 2-metil-pentán munkaközegként való alkalmazását.

Freon 115 (CAS 76-15-3) esetén, ha az expanzió 298 K hőmérsékleten kezdődik és 210 K-en ér véget, akkor a folyamat utolsó

része is még a túlhevített száraz gőz állapotban fut. Ennek hatására nem jelentkeznek a cseppképződéssel kapcsolatos problémák, azonban egy másik probléma felmerül, nevezetesen az expanderből kilépő száraz gőz a 210 K-en lévő telített gőz állapotig izobár módon történő lehűtésének a problémája. Ennek okán, az izentrópikus expanziónak (folytonos piros vonal) magasabb hőmérsékleten kell véget érnie (3g ábra: 2* pont) és a folyamat többi része (2* → 2) izobár hűtéssel (zöld vonal) valósul meg. Ily módon egy kicsi, majdnem háromszög alakú részt a *T-s* diagramban (amelyet az alsó szaggatott szürke vonal, a zöld vonal és a piros vonal kiterjesztése képez) ki kell zárni a ciklusból, csökkentve ezzel a termikus hatásfokot. További probléma, hogy ez a fel nem használt (elvesztett) hő növeli a környezet (hűtőközeg) hőterhelését. Rekuperatív hőcserélő beépítésével ezek a problémák megoldhatók vagy legalább is minimalizálhatók, mivel ennek a hőnek egy része felhasználható a munkaközeg előmelegítésére. Ez a megoldás csak akkor alkalmazható, ha a 2* és 2 pontok között elegendően nagy hőmérsékletkülönbség van. A freon 115 esetében 298 K és 219 K közötti expanzióval ez a hőmérsékletkülönbség $\Delta T = 9$ K körül van, amely csak korlátozott mértékben használható fel előmelegítés céljából. Nagyobb hőmérsékletkülönbségnél ez a hő jobban kihasználható, azonban a hatásfok így tovább csökken, ezért a cél továbbra is a tökéletes „telített gőzből telített gőzig” expanzió elérése.

R236fa munkaközeg esetén a $T_U = 298$ K és $T_L = 210$ K közötti expanzió telített gőz állapotból indul és telített gőz állapotban ér véget, elkerülve a nedves vagy a túlhevített száraz gőz állapotban lévő végponthoz kapcsolódó összes problémát. Az expanzió út szempontjából ez a tökéletes munkaközeg a megadott, a $T_U = 298$ K és $T_L = 210$ K hőmérsékletekkel jellemzett hőforrás – hőnyelő pár számára.

Abban az esetben, ha a $T_L - T_U$ diagramon kijelölt ponton (hőforrás-hőnyelő párt megadó hőmérsékletek által kijelölt pont) egyik expanzió utakat leíró görbe se halad keresztül, akkor olyan munkaközeget kell választani, ami „elég közel” van. Egy másik alternatíva lehet – különösen akkor, ha két kémiailag hasonló szerkezetű anyag van „elég közel” a megadott ponthoz – a keverék alkalmazása. A kémiai hasonlóság miatt a keverék valószínűleg egy majdnem ideális, zeotróp keverék lenne, amely könnyebben alkalmazható ORC munkaközegként, mint az azeotróp keverékek [15, 16, 17].

Amennyiben több közeghez tartozó expanzió utakat leíró görbe fut a $T_L - T_U$ diagramon kijelölt pont közvetlen közelében, akkor második, harmadik és akár negyedik lejobb munkaközeg is megadható. Mivel ezek a görbék közel vannak a megadott munkaponthoz, egyikük használata – az ideális helyett - csak elhanyagolhatóan kis problémát okozna, amely még elfogadható az adott rendszernél. Ily módon más kritériumokat (környezeti hatás, kémiai stabilitás, ár, hozzáférhetőség) is figyelembe lehet venni valamilyen optimalizálási módszerrel együtt (lásd [18, 19, 20) az ideális munkaközeg kiválasztása érdekében.

## Konklúzió

Egy új módszer került bemutatásra az – expanzió szempontjából – ideális munkaközeg kiválasztására egy adott, egy maximum (felső) és egy minimum (alsó) hőmérséklettel reprezentált hőforrás-hőnyelő párhoz. A javasolt módszer felhasználható többdimenziós munkaközegválasztási eljárás részeként is. A módszer a munkaközegek új osztályozását alkalmazza, amelynek alapja a karakterisztikus pontok sorrendje a hőmérséklet-entrópia térben. [21] Ennek a módszernek a segítségével egy adatbázisból (ld. [8]) kiválasztható egy olyan munkaközeg, ahol egy adott felső és alsó hőmérséklet közötti ideális adiabatikus (izentrópikus) expanziós folyamat lehetséges oly módon, hogy a kezdeti és a végállapotok egyaránt telített gőz állapotban vannak és az izentrópikus expanzió vonal a túlhevített száraz gőz régióban fut a teljes folyamat alatt. Ily módon elkerülhetők a cseppek vagy a túlhevített száraz gőz jelenlétével kapcsolatos problémák az expanzió végpontjában, közvetlenül a kondenzáció előtt. Ennek köszönhetően a legegyszerűbb – azaz a legkisebb beruházási és működési költségű – ORC elrendezés alkalmazható, amely csak egy szivattyút, két hőcserélőt (elgőzölögtető, kondenzátor) és egy expandert tartalmaz, elkerülve a túlhevítő (vagy cseppleválasztó) és a rekuperátor használatát; mivel a közeg az expanzió során mindig száraz állapotban van, a csepperózió szinként elkerülhető.

Jelenleg egy közel 30 tiszta közeget tartalmazó adatbázis áll rendelkezésre T-s adatokkal, melyeket a NIST Chemistry Webbook [6] és RefProp 9.1 [7] alapján kerültek meghatározásra. Ezen közegek többségét korábban száraz kategóriába sorolták, míg az új osztályozásban különféle izentrópikus alosztályokba tartoznak, nevezetesen az ANCMZ, ACNMZ, ANZCM és ANCZM kategóriákba. Tekintettel arra, hogy az ilyen expanzió útvonalak megvalósíthatóságáért felelős karakterisztikus pont (N pont) az adatbázis legtöbb anyaga esetén, alacsony hőmérsékleten helyezkedik el, ez a módszer jelenleg legfőképp a kriogenikus ciklushoz termodinamikai szempontból optimális munkaközeg meghatározására alkalmas, bár néhány anyag felhasználható magasabb hőmérsékleten is (lefedve a geotermikus és hulladékhő hasznosításhoz tartozó hőmérséklettartomány egy részét).

Folyamatban van a módszer továbbfejlesztése [22] (beleértve az alkalmazott expander belső hatásfokának és az expanzió végpontjában elfogadható nedvességtartalomnak figyelembe vételét), valamint az adatbázis bővítése további anyagokkal. Az adatbázis megfelelő kiterjesztését követően, a módszer elérhető lesz más hőmérséklet tartományokhoz tartozó munkaközeg kiválasztásához is.

## Köszönetnyilvánítás

A munka a FIEK_16-1-2016-0007 számú projekt keretén belül a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a „Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központ – Kutatási infrastruktúra fejlesztése – FIEK_16” pályázati program finanszírozásában valósult meg.

A munka az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

## Irodalmi hivatkozások

[1] Macchi, E., Astolfi, M. (editors), 2016, Organic Rankine Cycle (ORC) power systems: technologies and applications. Elsevier.

[2] Blaise, M.; Feidt, M., 2019, Waste Heat Recovery and Conversion into Electricity: Current Solutions and Assessment, International Journal of Thermodynamics, vol. 22, pp. 1–7.

[3] Györke G., Groniewsky A., Imre A., 2019, Egykomponensű munkaközegek újszerű osztályozása ORC technológiához,. Energiagazdálkodás, 60. évf, 1-2. szám

[4] Chen, H., Goswami, D.Y., Stefanakos, E.K.,2010, A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of low–grade heat, Renew. Sustain. Energy Rev. vol. 14, pp.3059–3067.

[5] Bao, J., Zhao, L., 2013, A review of working fluid and expander

selections for Organic Rankine Cycle, Renew. Sustain. Energy Rev. vol. 24, pp325–342.
[6] NIST Chemistry WebBook, 2018, NIST Standard Reference Database Number 69, http://webbook.nist.gov/chemistry/.
[7] RefProp 9.1, 2013, https://www.nist.gov/srd/refprop
[8] Györke, G., Groniewsky, A., Imre, A.R., 2019, A simple method to find new dry and isentropic working fluids for Organic Rankine Cycle, Energies, vol. 12, #480.
[9] Imre, A.R., Groniewsky, A., 2019, Various ways of adiabatic expansion in Organic Rankine Cycle (ORC) and in Trilateral Flash Cycle (TFC), Zeitschrift für Physikalische Chemie, vol. 233, pp. 577–594.
[10] FluidProp version 3.0.4., 2016, http://www.asimptote.nl/software/fluidprop/
[11] Sadaghiani, M.S.; Ahmadi, M.H.; Mehrpooya, M.; Pourfayaz, P.; Feidt, M. Process development and thermodynamic analysis of a novel power generation plant driven by geothermal energy with liquefied natural gas as its heat sink. Appl. Therm. Eng. 2018, 133, 645–658.
[12] Atienza-Márquez, A.; Bruno, J.C.; Akisawa, A.; Nakayama, M.; Coronas, A. Fluids selection and performance analysis of a polygeneration plant with exergy recovery from LNG regasification. Energy 2019, 176, 1020–1036
[13] Benjamin S. Fultz, The Challenges of LNG Materials Selection, Bechtel Fellow Bechtel Oil, Gas & Chemical
[14] Bassily, A.M., 2005, Modeling, numerical optimization, and irreversibility reduction of a dual-pressurere heat combined-cycle, Applied Energy, vol. 81, pp. 127–151.
[15] Albornoz, J., Mejía, A., Quinteros-Lama, H., Garrido, J.M., 2018, A rigorous and accurate approach for predicting the wet–to–dry transition for working mixtures in organic Rankine cycles, Energy, vol. 156, pp. 509–519.
[16] Su, W., Hwang, Y., Deng, S., Zhao, L., Zhao, D., 2018, Thermodynamic performance comparison of Organic Rankine Cycle between zeotropic mixtures and pure fluids under open heat source, Energy Conversion and Management, vol. 165, pp. 720-737.
[17] Varga, Z.; Csaba, T., 2018, Techno-economic evaluation of waste heat recovery by organic Rankine cycle using pure light hydrocarbons and their mixtures as working fluid in a crude oil refinery, Energy Conversion and Management, vol. 174, pp. 793-801.
[18] Quoilin, S., Van Den Broek, M., Declaye, S., Dewallef, P., Lemort, V., 2012, Technoeconomic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems, Renew. Sustain. Energy Rev. vol. 22, pp. 168–186.
[19] Zhang, X., He, M., Wang, J., 2014, A new method used to evaluate organic working fluids, Energy, vol. 67, pp. 363-369.
[20] Shi, W., Pan, L., 2019, Optimization Study on Fluids for the Gravity-Driven Organic Power Cycle, Energies, vol. 12, #732
[21] Györke, G., Deiters, U.K., Groniewsky, A., Lassu, I., Imre, A.R., 2018, Novel Classification of Pure Working Fluids for Organic Rankine Cycle, Energy, vol. 145, pp. 288–300.
[22] Imre R. A., Kustán R., Groniewsky A., 2019, Thermodynamic Selection of the OptimalWorking Fluid for Organic Rankine Cycles, Energies, vol 12, 2028

## SZAKMAI KONZULTÁCIÓ

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület az Innovációs és Technológiai Minisztérium Energiaügyekért és Klímapolitikáért Felelős Államtitkársága felkérésére 2019. november 26-án szervezett szakmai konzultációt a

**Nemzeti Energiastratégia és a Nemzeti Integrált Energia- és Klímaterv elkészülő tervezetei tárgyában**

Bevezető előadás keretében Palkovics László miniszter foglalta össze a készülő Nemzeti Energiastratégia főbb célkitűzéseit, majd Kaderják Péter államtitkár részletesebben ismertette a készülő stratégiákat.

A stratégia fejlesztésénél alkalmazott energiamodellt Mezősi András, a REKK főmunkatársa ismertette, majd a stratégiai környezetvédelmi vizsgálat főbb megállapításait Bús László az Ex Ante Kft. vezető tanácsadója foglalta össze.

Felkérésre a rendelkezésére bocsátott írásbeli dokumentumok alapján Bakács István, az ETE elnöke mondta el észrevételeit a készülő dokumentumokkal kapcsolatosan, ezt követően a résztvevők fejezték ki támogató, vagy figyelemfelhívó nyilatkozataikat.

A NES és a NEKT ügyekre, azok publikálását követően visszatérünk.

# A globális energetika és a gázellátás kérdései 2040-ig

**Dr. Molnár László**
*okl. gépészmérnök, lmolnar@t-online.hu*

**Bemutatjuk a világ energetikai helyzetét, három forgatókönyv szerint, és az egyes energiahordozók jövőbeli helyzetét, továbbá az energiaigény változását, az évi átlagos GDP értékek alakulását és a Világ villamosenergia-termelését, 2040-ig. A továbbiakban a globális földgázipar jövője 2040-ig, a régiók és néhány nagyobb gáztermelő OECD tagállam gázmérlegei és a regionális és a hazai gázhelyzet kerül bemutatásra.**

*

**The world's energy position, three scenarios, the future of the energy carriers, the evolution of the energy demand, the evolution of the GDP of certain regions and the demand of electricity is shown till 2040. Further the future evolution of the gas markets till 2040, the gas balances of selected OECD countries and the regional as well as the Hungarian gas future is analysed.**

* * *

A globális primer energiafogyasztás alakulása energiahordozóként és a $CO_2$ emissziók forgatókönyvenként. A Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) az energetika jövőjét 2040-ig 3 forgatókönyv szerint elemzi: 1. ún. állami (középutas) politika lép életbe; 2. fenntartható politikát vezetnek be 3. a jelenlegi politika folytatódik; (lásd 1. ábra).

A jelenlegi politika folytatása a fosszilis energiák és a $CO_2$ emissziók gyors növekedésével járna, míg a fenntartható politika a megújuló energiák gyors növekedéséhez és a fosszilis energiák továbbá a $CO_2$ emissziók csökkenéséhez vezet. Azonban a fenntartható politika magas költségeit nem hajlandó a világ finanszírozni, ezért az állami forgatókönyv megvalósulása tűnik reálisnak. A jelenlegi politikák és a meghirdetett célok ugyan 2040-ig lefékezik a $CO_2$ emissziók növekedését, de mindez kevés az emissziók csökkentéséhez.

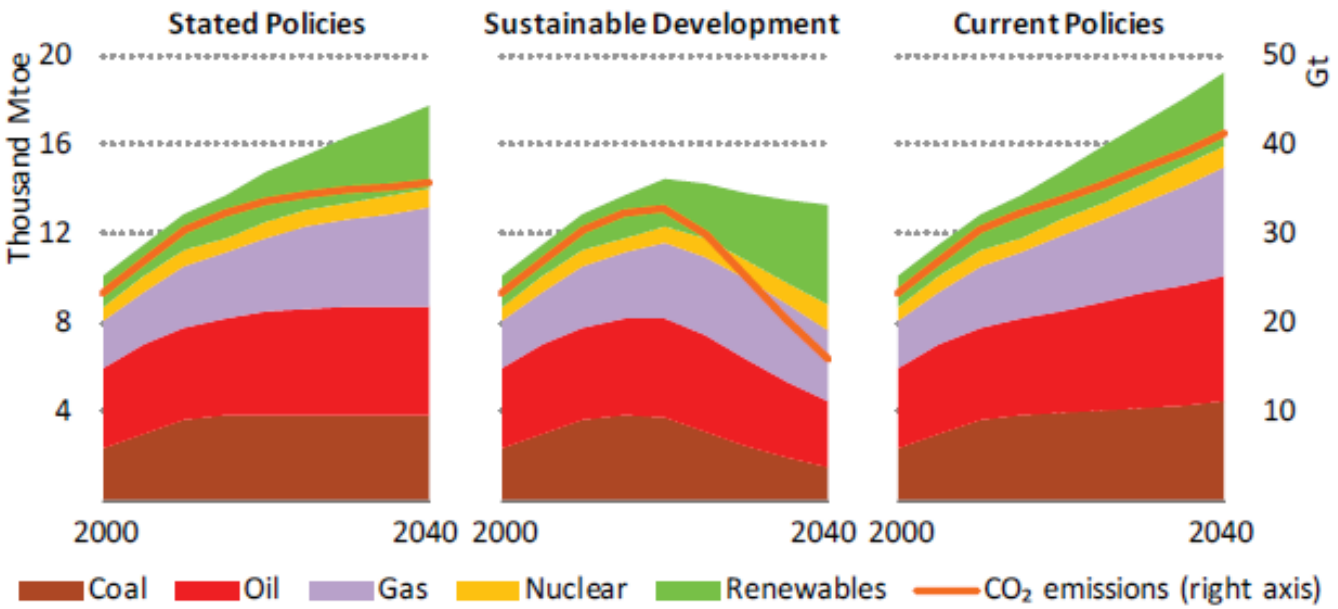
A földgáz szerepe mindhárom forgatókönyv szerint jelentős marad.

Az állami forgatókönyv szerint a világ energia-mixe 2040-ig részletes bontásban az alábbiak szerint alakul (lásd. 1. táblázat).

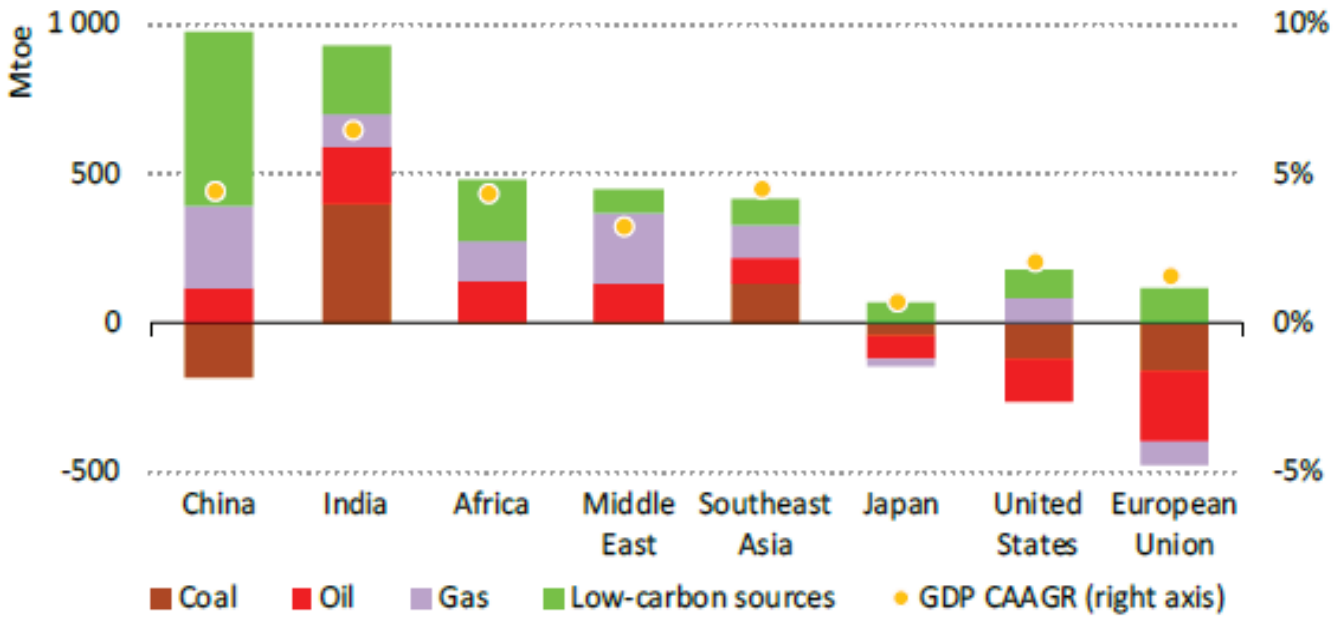
*1. táblázat.* A világ primer energiaigénye energiahordozóként az állami forgatókönyv szerint, 2040-ig, Mtoe, illetve $CO_2$ emissziónál Gt

| Mtoe, ill. Gt ($CO_2$-re) | | | Állami (középutas) politika | |
|---|---|---|---|---|
| | 2000 | 2018 | 2030 | 2040 |
| Szén | 2317 | 3821 | 3848 | 3779 |
| Olaj | 3665 | 4501 | 4872 | 4921 |
| Földgáz | 2083 | 3273 | 3889 | 4445 |
| Atom | 675 | 709 | 801 | 906 |
| Megújulók | 659 | 1391 | 2287 | 3127 |
| *Vízenergia* | *225* | *361* | *452* | *524* |
| *Modern bioenergia** | *374* | *737* | *1058* | *1282* |
| *Egyéb*** | *60* | *293* | *777* | *1320* |
| Szilárd biomassza | 638 | 620 | 613 | 546 |
| Totál | 10 037 | 14 314 | 16 311 | 17 723 |
| Fosszilisek aránya | 80% | 81% | 77% | 74% |
| $CO_2$ emissziók (Gt) | 23,1 | 33,2 | 34,9 | 35,6 |

*kályhákban tüzelhető hagyományos tüzelőanyag
**Szél, szolár PV, geotermikus, koncentrált napenergia, hullámenergia.
Forrás: OECD IEA WEO 2019




*1. ábra.* **A globális energia-mix és a $CO_2$ emissziók alakulása három forgatókönyv szerint, ezer Mtoe, illetve az emissziókra (jobboldali tengelyen) Gigatonna (Gt)** Forrás: OECD IEA WEO 2019




*2. ábra.* **Az energiaigény változása Mtoe-ben és az évi átlagos GDP értékek (a sárga pontok) növekedése %-ban, régiónként, az állami forgatókönyv szerint, 2018-2040-ig** Forrás: OECD IEA WEO 2019.

2018-2040 között a világ energiafogyasztása 24%-kal, a $CO_2$ emisszió 7%-kal nő. A fosszilis energiák részaránya az energiamixben 81%-ról 74%-ra csökken, de még mindig nagyon magas. A megújulók részaránya 2040-ben mindössze 18%-os, kisebb, mint bármelyik fosszilis energiahordozó. A nukleáris energia 2040-ig kissé nő, részaránya 2040-ben 5%.

2040-ig a villamosenergia-igény 60%-kal nő a növekvő alacsony-karbon áramtermelési mix következtében (részben villamos energia váltja ki a fosszilis energiákat). Szolár PV és szél adja az áramtermelés növekedésének több mint felét. Így a 2020-as évek

*2. táblázat.* A világ villamosenergia-termelése tüzelőanyag és technológia szerint az állami forgatókönyv szerint, 2030, illetve 2040-ig (TWh)

| TWh | | | Állami (középutas) politika | |
|---|---|---|---|---|
| | **2000** | **2018** | **2030** | **2040** |
| Szén | 5995 | 10123 | 10408 | 10431 |
| Olaj | 1207 | 808 | 622 | 490 |
| Földgáz | 2760 | 6118 | 7529 | 8899 |
| Atom | 2591 | 2718 | 3073 | 3475 |
| Vízenergia | 2613 | 4203 | 5255 | 6098 |
| *Szél és szolár PV* | *32* | *1857* | *5879* | *9931* |
| *Egyéb megújulók* | *217* | *739* | *1344* | *2020* |
| | | | | |
| Totál áramtermelés | 15436 | 26603 | 34140 | 41373 |
| | | | | |
| Totál áramigény | 13152 | 23031 | 29939 | 36453 |

Forrás: OECD IEA WEO 2019

A totál áramigény = totál áramtermelés – saját felhasználás (áramtermelésre) – átviteli és elosztási veszteség.

közepén lehagyják a szénalapú termelést. De ehhez szükséges a villamosenergia-rendszer (VER) sokoldalú fejlesztése. A villamos energia olcsó akkumulátoros tárolása ebben fontos szerepet fog játszani (ha eddig megoldódik).

A gyorsan fejlődő országokban lendületesen nőnek az alacsony karbon források (megújuló és atomenergia). Kína világ-vezető ezen a területen, míg India még mindig növeli szén-felhasználását. A három fejlett régió gyorsan csökkenti szén és olaj felhasználását, az EU-ban a földgáz is csökken. A GDP növekedés Indiában a leggyorsabb, míg a leglassabban növekvő régió az EU.

A 2. táblázat mutatja a világ villamosenergia-termelését.

A szél és szolár PV áramtermelés napjainktól 2040-ig több mint ötszörösre nő, de azért még 2040-ben is szén marad a vezető energiahordozó. Földgáz is jelentős szerepet képvisel 2040-ben.

## A globális földgázipar jövője 2040-ig

A következő két évtizedben a földgázfogyasztás több mint négyszer gyorsabban nő, mint az olajfogyasztás az ún. „állami (középutas) forgatókönyv" szerint. A gázigény növekedés a gazdaság minden területére kiterjed, míg az olajipar továbbra is csak a közlekedésre (teherautók, kamionok, hajók és repülőgépek) és a petrokémiai iparra koncentrál.

A gázigény növekedése 50%-ban a gyorsan fejlődő ázsiai gazdaságoknak köszönhető, és import eredetű. 2040-re az átlagos gáz molekula átlagban 5000 kilométert „utazik", mielőtt elérné valamelyik ázsiai gazdaságot.

Kína gázfogyasztása mindössze két év alatt (2017–18) 33%-kal nőtt. Ennek az erőteljes növekedésnek hátterében az LNG fokozott alkalmazása áll. 2040-re a kínai LNG import kétszer nagyobbra nő, mint a második legnagyobb LNG importáló ország, India importja. A kínai energiamérlegben a földgáz részaránya a mai 7%-ról 2040-re 13%-ra nő.

Az USA 2025-re plusz 200 milliárd $m^3$-rel járul hozzá a globális gáztermeléshez.

*3. táblázat.* Az OECD régióinak gázmérlegei, 2017-2018, millió m$^3$
Forrás: OECD IEA WEO 2019

| | 2017 | 2018 |
|---|---|---|
| **OECD Americas** | | |
| Belföldi termelés | 996 698 | 1 093 591 |
| + Import | 132 879 | 121 788 |
| − Export | 174 280 | 182 534 |
| − Készlet változás | −8 177 | −10 188 |
| Bruttó fogyasztás | **953 152** | **1 037 801** |
| | | |
| **OECD Asia Oceania** | | |
| Belföldi termelés | 132 760 | 149 958 |
| + Import | 175 868 | 182 092 |
| − Export | 74 875 | 91 582 |
| − Készlet változás | 965 | 1 848 |
| Bruttó fogyasztás | **226 218** | **233 317** |
| | | |
| **OECD Europa** | | |
| Belföldi termelés | 243 923 | 234 466 |
| + Import | 744 116 | 756 658 |
| − Export | 460 684 | 469 741 |
| − Készlet változás | −2 581 | 9 041 |
| Bruttó fogyasztás | **529 623** | **511 009** |
| | | |
| **Total OECD** | | |
| Belföldi termelés | 1 373 381 | 1 478 015 |
| + Import | 1 052 863 | 1 060 538 |
| − Export | 709 839 | 743 857 |
| − Készlet változás | −9 793 | 701 |
| Bruttó fogyasztás | **1 708 993** | **1 782 127** |

## Régiók és néhány nagyobb gáztermelő OECD tagállam gázmérlegei

Akárcsak az olaj, a gáz sem egyenletesen oszlik el a Földön. A 3. táblázaton bemutatjuk az OECD 3 régiójának gázmérlegeit.

A legnagyobb OECD gáztermelő régió Amerika (Kanada, USA, Mexikó). Az európai régió gáztermelése negyede, míg az Ázsia-Óceánia régió hetede az amerikai termelésnek. Amerika nettó gáz-exportőr, míg Európa és Ázsia-Óceánia egyaránt 50% feletti gáz-import függésű. Az egész OECD gázfogyasztása 2018-ban meghaladta az 1782 milliárd m3-t.

A 4. táblázatban áttekintjük néhány jelentős gáztermelésű ország gázmérlegét.

A világ legnagyobb gáztermelője az USA, melyet Oroszország, Irán, Qatar, Kanada és Kína követ. Az EU tagállamok közül a UK és Hollandia a nagyobb gáztermelő, de Hollandia termelése gyors ütemben csökken. Így az EU gázellátása 3 forrásból táplálkozik: 1. az orosz gázexportból; 2. a norvég gázból; 3. észak-afrikai vezetékes gázból és LNG-ből, mely utóbbi többféle (Qatar, USA, Afrika stb.) forrásból érkezik.

A globális gázfogyasztás gyorsan nő, de az EU-ban a tervek szerint, a $CO_2$ emissziók szigorú csökkentése miatt csökkenni fog.

## A regionális és a hazai gázhelyzet

Röviden áttekintjük hazánk és bővebb régiónk gázhelyzetét. Az EU 2050-ig szeretné elérni a teljes dekarbonizációt, de az energetikai szakma szeretné megőrizni a legtisztább fosszilis energia, a földgáz kiemelt szerepét. Ezt megalapozza a földgáz alapvető fontossága a VER szabályozásában.

Tágabban vett régiónkban most épül az Északi Áramlat 2, mely 55 milliárd m$^3$ gázt fog szállítani Oroszországból Németországba. De épül a Török Áramlat is, mely délről, Törökországon és a Balkánon keresztül fog szállítani orosz gázt Ausztriába. Hazánk gáz-interkonnektorral van összekötve Szlovákiával, Horvátországgal és Romániával. A hazai gázimport diverzifikálását segítheti elő, hogy Horvátország úszó LNG terminál üzembe helyezését tervezi, melyen keresztül délnyugat felől is tudnánk gázt importálni. Románia partjainál, a tenger alatt pedig jelentős mennyiségű gázkészletet találtak, mely ugyancsak gázforrás lehet részünkre a jövőben. De mindkét szomszédunknál még számos akadályt kell elhárítani.

Gondot jelent, hogy az oroszok szeretnék gáz exportjukat az Északi Áramlat 2-re áthelyezni, és az Ukrajnán keresztül érkező gázvezetéket – mely nekünk a legfontosabb gázforrás – ez év végén lezárni. Valószínűleg ez a lezárás legfeljebb csak részben fog megvalósulni. Mi minden esetre több mint 6 milliárd köbméteres gázkészlettel nézünk szembe az előttünk álló téllel.

*4. táblázat.* Vezető gáztermelésű OECD tagállamok és Magyarország gázmérlege, milliárd m$^3$, 2018

| | Ausztrália | Kanada | Németország | Magyarország | Hollandia | Norvégia | UK | US |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Belföldi termelés | 131 | 191 | 6 | 2 | 39 | 126 | 41 | 868 |
| Import | 6 | 22 | 162 | 15 | 61 | − | 48 | 82 |
| Export | 92 | 80 | 78 | 7 | 54 | 121 | 8 | 102 |
| Készlet változás | − | −1 | 4 | −0,4 | 2 | − | 0,4 | −9 |
| Bruttó fogyasztás | 45 | 133 | 85 | 10 | 43 | 5 | 81 | 852 |

Forrás: IEA mes, 2019

# 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 hallgató[1], kustan@energia.bme.hu*

**Dr. László Krisztina**
*egyetemi tanár[3], klaszlo@mail.bme.hu*

**Dr. Groniewsky Axel**
*egyetemi adjunktus[1], groniewsky@energia.bme.hu*

**Domán Andrea**
*PhD hallgató[3], doman.andrea@mail.bme.hu*

[1] BME GPK Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
[2] MTA Energiatudományi 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 szenet is. Ezeknek az üzemanyagoknak az előállításához szükség van valamekkora 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 felhasználható 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 tökételesen 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 megjelölik a végterméket is, mint pl. Power-to-Hydrogen (P2H) vagy Power-to-Methane (P2M), ezek az elnevezések nem váltak elterjedtté.

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 mindenfélét) volt, de manapság leggyakrabban a (kémiai) üzemanyagokká való átalakításra használják, beleértve a hidrogént, metánt, ammóniát, metanolt és még sok mást.

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.

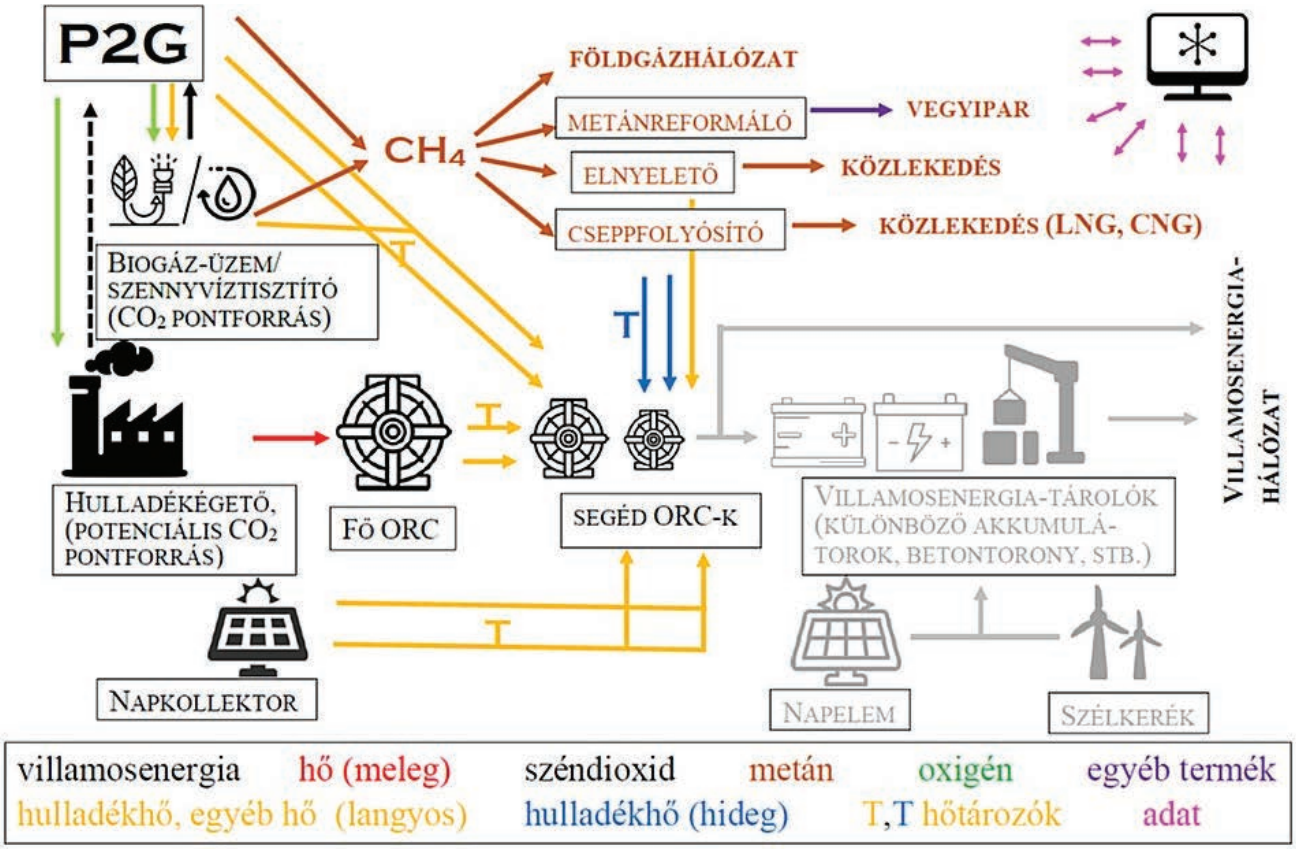
A hatásfokkal kapcsolatos kritikák kapcsán még egy dolgot szükséges kiemelni. A P2G technológia – hasonlóan a többi energiatárolási technológiákhoz – nemcsak egy tárolási, hanem egy szabályozási eszköz is. A P2G Hungary által továbbfejlesztett technológia lehetővé teszi a termelés pár percen belüli megindítását/leállítását, 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 melléktermékek 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 sematikus terve az 1. ábrán látható. Az egyes blokkok nevét feltűntettük az ábrán. A színes vonalak a különböző „alapanyagokat”, „közbülső 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 hálózatból 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 sematikus terve**

elégítené ki a P2G technológia szükségleteit. Amennyiben ebben a primer $CO_2$ 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 elszökő 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 beszürkítve jelöltünk – most nem kívánunk mélyebben foglalkozni.

Az erőművi füstgáz szekunder $CO_2$ forrásként való felhasználásának legfőbb akadályát a $CO_2$- 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 $CO_2$ kibocsájtást, tehát a füstgáztisztító technológiák azon csoportja, amely a $CO_2$ kivonásával foglalkozik, várhatóan a következő években gyors fejlődésen megy át, ami költségcsökkenéssel jár. Másrészt vannak olyan alternatív technológiák, amelyekben a füstgáz szinte tiszta $CO_2$, 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 innentől 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 „kiszerelésben" 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 elnyeletés
- hordozófolyadékban való elnyeletés.

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 adszorpciós 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. Legbíztatóbbak a fémorganikus térhálók, az úgynevezett MOF-ok (Metal Organic Framework) családjával elért eredmények. Ez a szivacsszerű 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 $cm^3$ normál állapotú metán egyetlen $cm^3$ 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 fantázianevű MOF-ot nyertek, mely egy $cm^3$-ében 259 normál $cm^3$ 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 megemlítjük, hogy a metán elnyelethető 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 kibocsájtásával 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 kibocsájtott 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 hőmérséklethez 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 [Tartiére, 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 hálózat 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 köztes, 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 színezettek – 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 előállításon, 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., Czakkel, 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] Csedő, Z. (2017) Power-to-Gas: egy ígéretes lehetőség a megújuló energiaforrások integrációjára, Zöld Ipar Magazin, 7, 28-29.

[5] Földes, D., Kováts, É., Bortel, G., Jakab, E., Pekker, S. (2019) A Metal-organic Framework with Paddle-wheel Zn2(CO2)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 andFuture 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.; Matthischke, 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.; Csedő, 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] Tartière, T. (2018) ORC World Map by Thomas Tartière (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.; Csedő, 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.


MŰEGYETEM 1782

# 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 magán befektetők, 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-szcenárióinak [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 adoptálásán 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 bekerülő projektek kiválasztási szempontja, hogy azok a Power-to-Gas Hungary stratégiája 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 átvezetnek 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

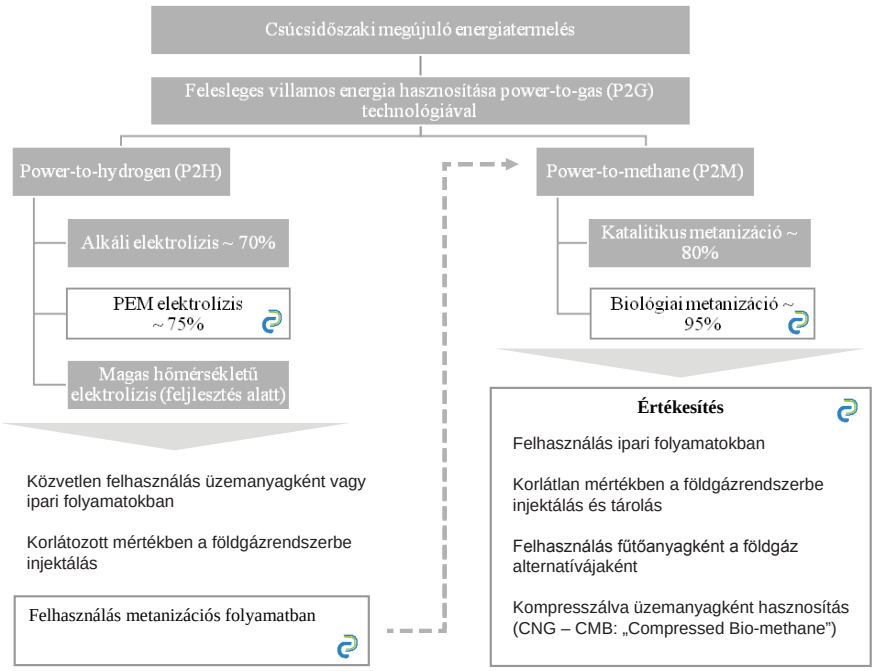
### *A power-to-gas szektor határai és technológiái*

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 áttekintő 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, kompresszálva 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 logoval 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 tanulságaik

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 üzeme 2013 óta működik és 6 MW teljesítményével a világ legnagyobb power-to-gas erőműve. A hidrogénelőállításhoz szükséges villamos energia az Északi-tengernél elhelyezkedő szélerőmű 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 tanulsága 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 földgázhálózatba, 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 hálózatüzemeltető, 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 hálózatüzemeltető is megtalálható, továbbá a power-to-gas technológia fejlesztés és implementáció összekapcsolódhat a támogató digitális megoldások fejlesztésével is.

Az Electrochaea GmbH BioCat üzeme 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 | Werlte, 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 energiatárolási képességeit. A projektben részt vett a dán villamosenergia- és gázrendszer üzemeltető Energinet, az elektrolizátort szállító Hydrogenics, a NEAS Energy energetikai eszközkezelő, 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 Microbenergy és az Audi üzeméhez, itt is megelőző K+F fázisokra került sor, beleértve egy laboratóriumi és egy 250 kW-os üzemet is. Az Electrochaea 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 archea törzs bizonyította kimagasló hatékonyságát az ipari méretű megújuló energiatárolásban.

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 mikroorganizmusosok 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 Strorage projekt tanulsága, hogy Magyarország közvetlen szomszédságában is jelentős állami források áramlanak egy power-to-gas kutatási projektbe, melynek koordinálója 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 iparágon 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 egyrészről az együttműködés egy innovatív technológia-fejlesztő startup (Power-to-Gas Hungary Kft.), energetikai nagyvállalatok (energiaszolgáló, hálózatüzemeltető) és kutatóközpontok között, másrészről 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 megkülönböztető képesség azonosítható:

1. **Technológia**
   A Power-to-Gas Hungary Kft. által (is) alkalmazott biológiai metanizáció, és azon belül is a szabadalmaztatott archea 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. Csedő, *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. Csedő, 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. Csedő, „Útmutató a sikeres változáshoz: a szervezeti változás típusai," *Kórház, 14 (9),* pp. 56-57, 2007.

[6] 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.

[7] Z. Csedő, „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 $CO_2$," *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. 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.

[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. Hortományi 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. Hortományi, E. Incze, M. Lackzó, Z. R. Szabó és E. Tari, Startégiai menedzsment, Budapest: Aula Kiadó, 2009.

[19] N. G. Foster, Innovation: The Attacker's Advantage, New York: Summit Books, 1986.

[20] Z. Csedő, „Hogyan lássunk neki a stratégiaalkotásnak? Stratégiai megközelítések," *Kórház, 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. Csedő, B. Sinóros-Szabó, M. Zavarkó, „Biometánt 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. Csedő, 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 $H_2O$/$CO_2$ 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. 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.

[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/joomlaplates/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-sunconversion.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 hazai energiatárolás lehetőségei 2030-ig

**Dr. Pintér Gábor[1], Dr. Birkner Zoltán[2], Hegedűsné dr. Baranyai Nóra[1], Dr. Zsiborács Henrik[1]**

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

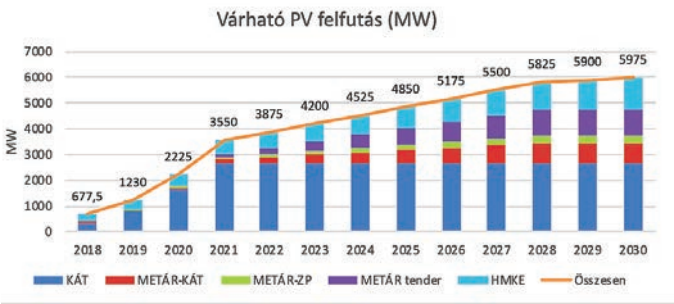
2016 végéig az állandó jelleggel kiépített energiatároló berendezések teljesítménye 156,4 GW-volt, amelyből a PHS 150 GW-ot képviselt. A többi energiatárolásra képes technológia összesen 6,4 GW-ot jelentett , amelyből az akkumulátoros berendezések részesedése 1,7 GW-volt [22–25].

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 környezettre 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].



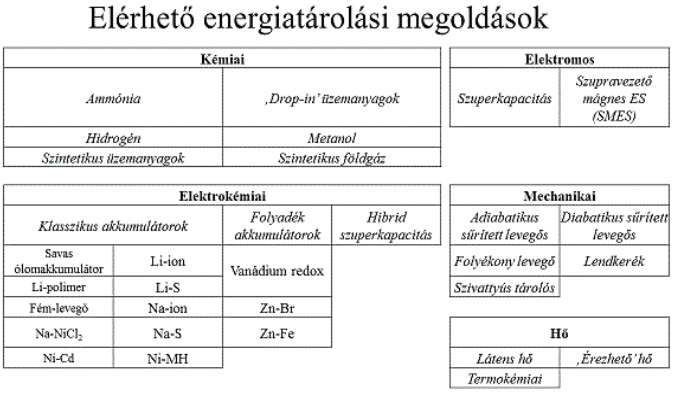

*1. ábra.* **A napelemes rendszerek jövőbeli változásának előrejelzése a MEKH szerint [27]**

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 szénerőművek) 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 tárolós erőmű számít a szolgáltatás úttörőjének, mely a XX. század elején már nélkülözhetetlen volt a németországi Ruhr-vidéken. Egy szivattyús tárolós 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.



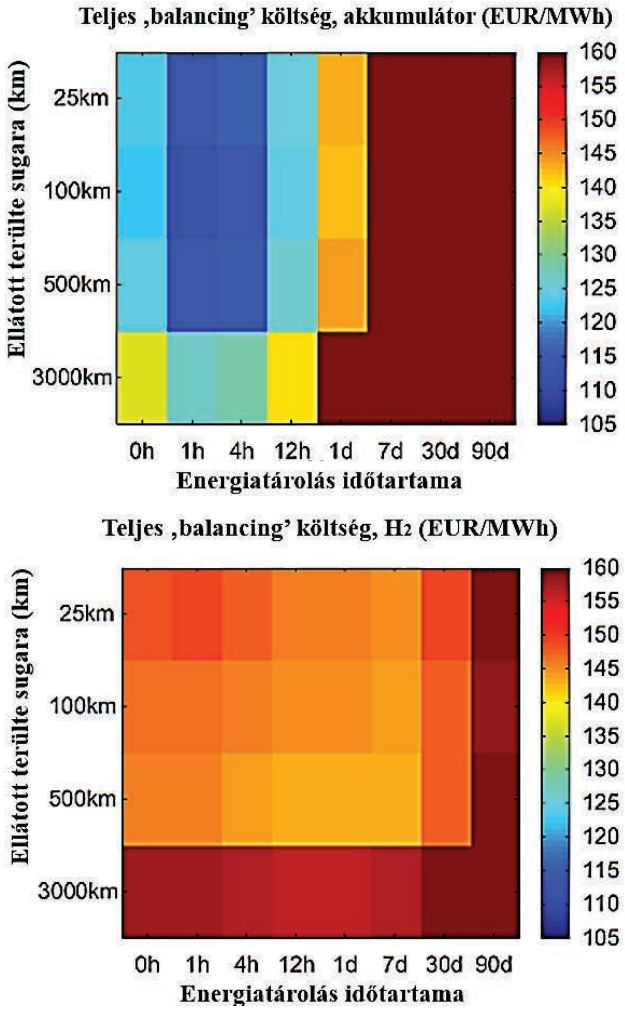

*2. ábra.* **A villamos energia tárolására alkalmas technológiák csoportosítása [28]**

## Szükséges energiatároló kapacitás Magyarországon

Szakirodalmi adatok alapján [29] az energiatárolás névleges teljesítménynek a VRE-k névleges teljesítményének 1-8%-ával kell megegyeznie. 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 előnyeik és hátrányaik 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 kiépülő 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 energiatárolós 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


1. 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.
2. 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.ENECO.2014.10.022.
3. Cho, A. Energy's tricky tradeoffs. Science 2010, 329, 786–7, doi:10.1126/science.329.5993.786.
4. 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.
5. Szabó Dániel Napelemek: energiatárolókat telepít a közműszolgáltató Available online: https://www.napi.hu/magyar_vallalatok/napelemek_energiatarolokat_telepit_a_kozmuszolgaltato.674558.html (accessed on Feb 20, 2019).
6. Fülöp Miklós Működik az első hazai közcélú energiatároló egység Available online: https://www.villanylap.hu/hirek/4904-mukodik-az-elso-hazai-kozcelu-energiatarolo-egyseg (accessed on Feb 20, 2019).
7. 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;
8. 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.
9. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Exploration of High-Penetration Renewable Electricity Futures; 2012; Vol. 1;.
10. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Renewable Electricity Generation and Storage Technologies; 2012;
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Strbac, G.; Aunedi, M.; Pudjianto, D.; Djapic, P.; Teng, F.; Sturt, A.; Jackravut, D.; Sansom, R.; Yufit, 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;
17. International Renewable Energy Agency Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030; Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2017;
18. 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.
19. Beaudin, M.; Zareipour, H.; Schellenberglabe, 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.
20. 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.
21. 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.
22. European Commission. EU Reference Scenario 2016; 2016;
23. International Hydropower Association. 2017 Key Trends in Hydropower; 2017;
24. International Renewable Energy Agency IRENA. Renewable Energy Capacity Statistics 2017; Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2017;
25. Sandia National Laboratories. DOE Global Energy Storage Database, Office of Electricity Delivery & Energy Reliability Available online: http://www.energystorageexchange.org/projects.
26. 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.
27. Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, ügyfélszolgálat. Tájékoztatás a napelemes rendszerek jövőbeli kapacitásának várható alakulásáról Available online: http://www.mekh.hu/ (accessed on May 15, 2019).
28. Energy Regulations Regional Association, E. 1st Educational Workshop: Innovation and Regulation Available online: https://erranet.org/training/innovation_and_regulation_2018/?tab=program (accessed on May 15, 2019).
29. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont. A Hazai Nagykereskedelmi Villamosenergia-Piac Modellezése és Ellátásbiztonsági Elemzése 2030-ig különböző Erőművi Forgatókönyvek Mellett; Budapest, Magyarország, 2019;
30. Világgazdaság. 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).
31. 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;
32. Metalary. Lithium Price 2019 Available online: https://www.metalary.com/lithium-price/ (accessed on May 16, 2019).
33. 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.
34. 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).
35. Energen Power Holding AB. Energen, IntelliStoree; Budapest, Hungary, 2018;

# 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 megújulók hasznosításának növelése azonban jelentős kihívásokba ütközik. E kihívásokra piacképes megoldást nyújthat a Power-to-Gas Hungary Kft. által, a Chicagoi 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 energiatárolást 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 development, 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-üzemeltetői 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 energiapolitikai 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 kiszolgálandó szegmensek, a hozzájuk kapcsolódó csatornák és fogyasztói kapcsolatok, (B) termelési oldalról a kulcspartnerek, kulcserőforrások és kulcstevékenységek, (C) pénzügyi oldalról a bevételáram és a költségtényezők kereteznek [7]. A Power-to-Gas Hungary Kft. üzleti modellje a technológiai innovációra épül, de a technológiai innovációból származó magas profitkilátások 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 együttműködéseken 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, egyetemek 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 MicrobEnergy 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 ellátása 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 képes, a power-to-methane szegmens – már a külső tényezők alapján is – jövedelmezőbb szegmens, mint a power-to-hydrogen. Egyrészről, 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 üzeme). 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 MicrobEnergy 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].

| Értékajánlat | |
|---|---|
| Elsődleges termék:<br>A. Energiatárolás – megújuló forrásból származó többletenergia tárolása, hálózati kiegyenlítő szolgáltatások<br>B. Biometán – környezettudatos energiahordozó, a földgáz helyettesítője<br>Másodlagos termékek:<br>C. Hulladékhő – megújuló forrásból<br>D. Oxigén – megújuló forrásból, alacsony áron<br>E. $CO_2$ kvóta értékesítése – magas $CO_2$ kibocsátás kompenzálása<br>F. Licenc értékesítése – egyedi power-to-gas technológia és kapcsolódó tanácsadás | |
| **Az érték nyújtása** | |
| Csatornák és fogyasztói kapcsolatok | Az értékesítés elsődleges csatornája a személyes értékesítés. Fontos kommunikációs csatorna a konferenciákon való részvétel, a szakmai és tudományos előadások tartása és a publikációk is. |
| Fogyasztói szegmensek | A. Energiaszolgáltató, rendszerüzemeltető<br>B. Környezettudatos ipari vállalatok (pl.: energia ipar, vegyipar, közlekedés), önkormányzatok, végfogyasztói közösségek<br>C. Önkormányzatok, távhőszolgáltatók, közeli ipari vállalatok<br>D. Közeli szennyvíztelepek, akvakultúrák, ipari egységek<br>E. Magas $CO_2$ kibocsátású létesítmények üzemeltetői<br>F. Külföldi energiatermelő- és szolgáltató nagyvállalatok |
| **Az érték létrehozása** | |
| *Kulcspartnerek* | *Kormányzat, stratégiai befektetők, pénzügyi befektetők, egyetemek és kutatóközpontok, startup ökoszisztéma szereplői és szolgáltatói* |
| Kulcs-erőforrások | Minőségi K+F és üzemeltetői HR, pénzügyi erőforrások, technológiai kiválóság, kereskedelmi méretű üzem |
| Kulcs-tevékenységek | K+F+I, üzemlétesítés, hatékony üzemeltetés, *együttműködés a kulcspartnerekkel* |
| **Az érték megragadása** | |
| Költség-struktúra | (1) Technológia fejlesztési költségek, infrastruktúra fejlesztési költségek; (2) Üzemeltetési fix költségek és inputtényezők beszerzési költségei (kiemelten $CO_2$ és villamos energia) |
| Bevétel | Egyedi megállapodások dinamikus árazással a megvásárolt volumen függvényében |

*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 üzemlétesítéshez 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) 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 szénerőművek 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.
b) 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.
c) 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].
d) 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.

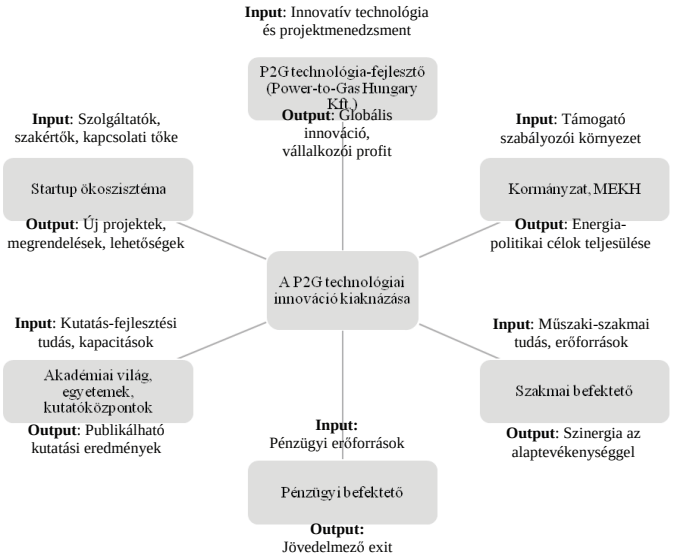
A fentiek alapján az értékteremtésben a kulcspartnerek szerepe kritikus, együttműködés nélkül a power-to-gas technológiában rejlő potenciál nem kerülhet kiaknázásra.

## 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:

a) Megújuló energiaforrások nagyobb léptékű integrációjának lehetővé tétele a többlet villamosenergia-kapacitás felhasználásával és ebből biometán előállításával
b) A hálózat-üzemeltetői feladatok csökkentése a keresletet és kínálatot kiegyensúlyozó technológia révén
c) 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. Çatlioglu, „Sustainability Reporting Practiceses 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, „Biometánt 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 Modell Generation, New Yersey: 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. Hortományi 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. Hortományi, 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," m. 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.

# Mi lesz a kőolaj jövője?

**Szilágyi Zsombor**
*mérnök; drszilagyizsombor@freemail.hu*

**A kőolaj a világ legjelentősebb energiahordozója és belátható időn belül az is marad. A kőolajtermelő országok döntései a termelés visszafogásáról, vagy éppen a felszabadításáról egy sor változást indítottak el, a gazdaság szinte minden területén. Néhány politikai, katonai esemény pedig nem várt irányba viheti a kőolaj piacot. A kőolaj jövőjére mégis a klímavédelmi intézkedések gyakorolják a legnagyobb hatást. Mit hoz a jövő: ebbe próbálunk betekinteni cikkünkben.**

2018-ban a kőolaj adta a világ primer energiahordozó felhasználásának 35%-át, ezzel a legfontosabb fosszilis energiahordozó volt [1]. Az évi 4,8 milliárd tonna körüli fogyasztás döntő többsége a közlekedést szolgálja, de a kenőanyag termelésben, a villamos áram termelésben és a vegyiparban is lényeges szerepe van. Az útépítés bitumen szükségletét is a kőolaj biztosítja. A kőolaj termékek a villamos erőművek tüzelőanyag választékában fokozatosan visszaszorulnak. A kőolaj használat környezet károsító hatásai miatt egyre szélesebb körű a törekvés a kőolaj származékok kiváltására, de 2040-ig a kőolaj elsősége valószínűleg megmarad a világ energia piacán.

Az US EIA kutatója, John R. Franchi merész energetikai prognózist mutat be [2]. A világ a szervezett és hatékony környezetvédelmi intézkedései hatásaként 2100-ra a fosszilis energiahordozók eltűnnek az emberiség energia felhasználásából. Ez a prognózis egy sor olyan feltételezést tartalmaz, aminek alapjai még ma hiányoznak, például: mi lesz a szénbányászat, a szénhidrogén termelés iparágakkal, az energia termelés és a felhasználás szezonalitásának eltéréseit hogyan kezeljük, mi lesz a repülőgépek hajtóanyaga, az olajtermékeket kiváltó bio energiahordozókat hogyan termeljük meg a klímaváltozás miatt szűkülő mezőgazdasági termő területeken. Franchi a nukleáris energiahordozó eltűnését is vizionálja. Az US EIA jövőképe az energiahordozók megoszlásáról (milliárd toe) [2]:

| | 2018 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **nukleáris** | 0,6 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | 0 |
| **szén** | 3,8 | 1,8 | 1,1 | 0,8 | 0,1 | 0 |
| **kőolaj** | 4,7 | 3,6 | 3,5 | 2,8 | 2,1 | 0 |
| **földgáz** | 3,3 | 2,2 | 2,5 | 2,4 | 2,3 | 0 |
| **megújuló** | 1,5 | 2,6 | 3,8 | 4,6 | 6,4 | 17,1 |

A kőolaj felhasználás reális jövőjét az energetikai kutató intézetek különbözőképp vázolják (millió toe):

| | 2018 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | 2100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **EIA [2]** | | 3600 | 3500 | 2800 | 2100 | 0 |
| **ERIRAS [5]** | | 4432 | 4149 | 3725 | | |
| **BP [1]** | 4662 | 4505 | 4335 | 3845 | | |
| **Shell [8]** | | | 4657 | 2627 | | |
| **OPEC [6]** | 3940 | 4027 | 4312 | 4404 | | |

A Föld ma ismert hagyományos kőolaj készlete 244 milliárd tonna [1], de hatalmas területeken még nem volt a modern technika szerinti geológiai és geofizikai kutatás sem. A világ nem hagyományos kőolaj készleteiről még becslések sem készültek, de többszörösen meghaladhatják a hagyományos készleteket.

A legnagyobb hagyományos kőolaj készlettel rendelkező országok 2018-ban: Venezuela 48,0 milliárd tonna, Szaúd- Arábia 40,9, Kanada 27,1, Irán 21,4, Irak 19,9, Oroszország 14,6. [1]

A legújabb technikai színvonalon végzett készletkutatások a hagyományos geológiai-geofizikai módszerekkel megkutatott területeken is hoznak új eredményeket: Texasban a közelmúltban mintegy egy milliárd tonnás új, hagyományos kőolaj készletet fedeztek fel.

A magyar kőolaj termelés igencsak szerény, és a készleteink alapján sincs különösebb okunk a bizakodásra. Míg 1970.-ben 1,78 millió tonna kőolajat termeltünk, 2018.-ban csak 1,1 millió tonnát. A hazai termelést 2030.-ra már a 0,5 millió tonna/év szint alatt várják. A Magyar Bányászati és Földtani Hivatal a hazai hagyományos, kitermelhető kőolaj készletet 2010.-ben 10-58 millió tonna közé tette. Magyar viszonylatban jelentős kőolaj készleteket találtak a Dráva mentén, a készlet pár évig biztosíthatja a hazai kitermelés szinten tartását.

A kőolaj adja a tőzsdék legnagyobb forgalmát: az olaj éves forgalma 1720 milliárd USD körül van, összehasonlításként az arany piaca 170 milliárd USD, az acél: 115 milliárd USD, vagy a világ teljes élelmiszer kivitele 2019-ben várhatóan 1450 milliárd USD lesz. A tőzsdéken a leggyakrabban előforduló minőségek: Brent: északi tengeri olaj fajta, WTI (West Texas Intermediate): az USA tipikus könnyű olajfajtája.

A kőolaj piac három legfontosabb szereplője:

## OPEC

2018-ban a világ kőolaj termelésének 41,4 %-át adja az OPEC [1]. Most tizenhárom olajexportáló ország alkotja ezt a közösséget, köztük vannak kisebb-nagyobb olajpiaci szereplők. Mindegyik ország érdeke az, hogy minél több kőolajat tudjon eladni, minél magasabb áron.

A szervezetben a kitermelés mennyisége alapján súlyozzák a szavazatokat, így Szaúd Arábia a vezető ország. Tagja ugyanakkor több olyan kisebb olajtermelő ország is, ahol az olajexport bevétel az ország mondhatni egyetlen bevétele: Nigéria, Líbia, Venezuela. Háború sújt több országot is: Irak, Szíria. A közösen hozott piaci döntéseket általában betartják.

A 2016. novemberi OPEC döntés a napi kőolaj termelés 1,1 millió hordónyi visszafogásáról az olaj piaci árának emelése érdekében hatékonynak látszott, még az OPEC 2016. októberi 33,6 millió hordó/nap kitermeléséhez képest is. Segítette még a termelés korlátozást néhány OPEC-en kívüli állam (köztük Oroszország) is, napi 612 ezer hordó termelés csökkentést vállalva. A termelés korlátozás azonnal emelte a kőolaj árát, és remény volt arra, hogy a teljes termelés csökkentés elérése után a kőolaj ár 60...70 dollár/hordó szinten lesz. Az OPEC máris mérlegeli a termelés korlátozás határidejének meghosszabbítását.

Több tényező azonban módosításra kényszerítheti az OPEC országokat, és ezek közül az Egyesült Államok és Oroszország piaci magatartása a legjelentősebb. Ugyanakkor az OPEC termelés korlátozás nem azonos mértékben vonatkozott mindegyik tagállamra: Irán mentességet kapott, ugyanis 2016. januártól szabadult ki a nukleáris politikája miatt elrendelt kőolaj kiviteli embargó alól. Líbia is kapott némi kivételt, mert úgy látszott, befejeződik a háború az országban.

## Oroszország

Nem tagja az OPEC-nek. Oroszország 2010-ben 512,3 millió tonna kőolajat termelt, 2015-ben 541,8 millió tonnát, 2018-ban 563,3 millió tonnát, és ebből 411 millió tonnát exportált [1]. Az export árbevétele 2018-ban kb. 123 milliárd USD volt. A kőolaj termelési költségek 2015-ben: Rosneft: 2,8 USD/hordó, Lukoil: 3,7, Gazprom Neft: 3,6. [5].

Oroszország teljes exportjának mintegy 20%-a a kőolaj, és az olaj a külkereskedelmi aktívum legfontosabb tényezője is.

A 2015-2016. évi olajár eséssel az orosz GDP változása negatívba fordult: 2014-ben még +0,6 % volt, 2015-re a Gajdar Intézet már −6,4%-ot mért, 2016-ra pedig −2,3 % -ra alakult. Az olaj bevétele feleződött. Az orosz állam kénytelen volt hozzányúlni az arany- és devizatartalékhoz, és egy év alatt 130 milliárd USD értéket kényszerült piacra dobni. További gondot jelentett, hogy az olajár esés több országban (például: Venezuela, Líbia) lehetetlenné tette az orosz hitelek visszafizetését.

Oroszország azért vállalt szoros együttműködést az OPEC-el a kőolaj termelés visszafogására, mert az emelkedő olajárak azonnal pozitív irányba mozdították az orosz gazdaságot: külső adósságát tudta csökkenteni (2017. januárban 518,7 milliárd USD volt), devizatartaléka 2017. márciusra ismét 397 milliárd USD-ra nőtt (2016. novemberben 385 milliárd dollár volt). A külkereskedelmi mérleg aktívuma a 2016. októberi 6,5 milliárd USD-ról 2017. januárban már 11,5 milliárd USD-ra nőtt [3]. A GDP növekedés is pozitívba fordult.

Oroszország addig tartja magát az OPEC termeléskorlátozásra vonatkozó döntéséhez, amíg az érdekei úgy kívánják. Ennek az érdeknek egyik komoly veszélyeztetője az amerikai palaolaj termelés sikere, az amerikai olajimport látványos csökkenése, ami piaci túlkínálatot generál. A túlkínálat következménye az árak esése. Valószínű, hogy az oroszok 50 dollár alatti olajár esetén is fenn fogják tartani az olajexportot, megőrzik jelenlegi piacaikat.

## Egyesült Államok

Nem tagja az OPEC-nek. 2018-ban a világ legnagyobb kőolaj termelője (15,3 millió hordó/nap) és a világ legnagyobb kőolaj fogyasztója (20,4 millió hordó/nap) [1]. Ezzel jár együtt, hogy a világ legjelentősebb kőolaj importőre is. Az import meghatározó része Szaúd-Arábiából és Kanadából érkezik.

Egyszerűsítve palaolajnak nevezik a tömör kőzetekből mélyfúrással, rétegrepesztéssel kinyerhető kőolajat. Az USA-ban kis, rugalmas vállalkozások százai kezdtek hozzá az ezer-kétezer méter mélységben lévő nem hagyományos kőolaj lelőhelyek kutatásának és kitermelésének. A 2014. év őszén megindult olajáresésre ezek a vállalkozások először a kitermelés visszafogásával reagáltak, de azonnal elindult a termelés technológia fejlesztése, a költségek lefaragása. A 2016. februári, 27 USD/hordó Brent árral már nem bírtak, de amikorra a mai 60...70 dollár körüli szintre emelkedett az olaj ár, addigra már a legtöbb, nem hagyományos olajtermelő vállalkozás ismét tud haszonnal működni.

A 2016. évi olajár esés különös vonzatai az USA-ban:

- Az olajár esésnek köszönhetően az emberek többet költenek más célokra: nő az élelmiszer és iparcikk fogyasztás, erősödik a turizmus, a kereskedelmi cégek forgalma nő. Az USA-ban ezt a hatást 2015-ben 80 milliárd dollárra becsülik.
- A szállítás és az ipari szektor haszna nőtt az alacsony üzemanyag árak miatt.
- Az olajcégek részvényeinek ára együtt mozgott a kőolaj árával, ezért a nagy olajipari cégek visszafogták kiadásaikat, a kutatásokat minimalizálták, a folyó kitermelési beruházások egy részét leállították.
- Nagy olajipari beszállító cégek létszámot csökkentettek: Schlumberger 9 ezer fővel, Halliburton ezer fővel, Baker Hughes 7 ezer fővel, Suncor Energy ezer fővel.
- Mivel a hordónkénti olajár 50...70 USD közötti szinten tartósnak látszik, a „nagyok" is hozzákezdtek a költség csökkentéshez: a BP a kitermelési üzletág 20%-os költség csökkentését indította el, ugyanez a csökkentés a Chevronnál 13%.
- Erősödött a bio üzemanyagok használata, és megjelent a motor hajtóanyagok között a biogázból nyert metán is.
- Az USA már akár 2020-ban is önellátó lehet kőolajból, a palaolaj termelési eredményeknek köszönhetően. Az amerikai olajimport lecsökkenése komoly viharokat idézhet elő a világ olajpiacán.

## Olajár kilátások

Az olajár alakulását egyre inkább befolyásolják a klímavédelemmel összefüggő energetikai és politikai elhatározások. A fosszilis tüzelőanyagok kiváltását elősegítő fejlesztések eredményei is kezdenek látszani az energia piacokon.

Szinte minden gazdasági elemző cég készít prognózist a kőolaj árának alakulásáról, azzal együtt, hogy egy éven túl senki sem mer jövőt jósolni. A prognózis alapja a határidős tőzsdei üzletekben szereplő árak és a piacot befolyásoló események. A prognózisokat a piaci események alapján gyakran korrigálják. A prognózisok legtöbbje a kőolaj árának enyhe emelkedésével számol: 2020-ra 70...75 dollár/hordó, 2030-ra 75...80 dollár, 2040-re 80...82 dollár szintre. Ez az emelkedés szinte a világ átlagnak megfelelő infláció szintje.

Az új prognózisok mögött több tényező van:

- a palaolaj kitermelés nő, az 50 dollár körüli olajár mellett is
- az OPEC termelés csökkentő programja nem teljesül maradéktalanul
- Oroszország érdeke a kőolaj és a földgáz export növelése, és ennek érdekében szervezi beruházásait
- a világban nagyok, és nőnek a felszíni kőolaj- és kőolajtermék készletek
- Nigéria és Líbia is visszatért az olaj exportáló államok közé és érdemi kitermelés korlátozás nélkül
- Trump amerikai elnök a párizsi klímavédelmi megállapodást visszamondta, határozottan támogatja az amerikai fosszilis energiahordozók (kiemelten a szén és a kőolaj) termelését és használatát
- Oroszország eddig nem szólalt meg a klímavédelem kérdéseiben, nem is vállalt semmit sem ezen a téren

A kőolaj árát érintő főbb kockázatok 2019.-ben [9]:

- Irán nukleáris stratégiáját az USA érzékenyen kezeli, ugyanakkor Irán jelentős kőolaj exportőr. Szorítható-e Irán a nukleáris programja fékezésére?
- Az olaj- és gáziparba áramló befektetések évente 2,2...2,5 milliárd dollár. Fennmarad-e ez az intenzív tőke beáramlás?
- A megújuló energiahordozók használatának fokozása különösen beruházás igényes. Lesz- e elég tőke a fosszilis energiahordozó használat visszafogására?
- A klímaváltozás jelenségei elég súlyosak-e a fosszilis energiahordozó használat fékezésének gyorsítására?

A fenti kérdésekre a következő évek hozzák meg a választ. Változatos évek előtt állunk, a kőolaj piacon a pozitív és negatív jelenségek keverednek, hullámzanak.


[1] BP Statistical Review of World Energy 2019 68th edition
[2] US EIA: John R. Fanchi: Energy in the 21th century
[3] tozsdearnyek.hu 2017 04 28
[4] World Oil Outlook 2040. OPEC
[5] The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences:Global and Russian Energy Outlook 2019
[6] US EIA: International Energy Outlook 2019. 2019. sept. 24.
[7] BP Statistical Review of World Energy 2019 |68th edition
[8] Shell Global Supply Model: Oil & GAS: a view to 2100
[9] nrgreport.com 2019 01 02: Nick Butler, Financial Times

# A levegő páratartalma és a klímaváltozás

**Szilágyi Zsombor**
*mérnök; drszilagyizsombor@freemail.hu*

**A levegő páratartalmával, mint a klímaváltozás egyik okával nem szoktunk foglalkozni, mert a közvélekedés szerint ennek a légköri tényezőnek az alakulására nincsen hatásunk. Közvetve is, de közvetlenül is mégis tudjuk befolyásolni ezt a klimatikus tényezőt. Cikkünkben a légkör páratartalmának változását és az ezzel összefüggő kérdéseket tekintjük át [1], [2].**

A Napból a Földre az energia elektromágnesese sugárzás formájában érkezik. A Nap felszíni hőmérséklete 6000° C körül lehet. A Nap által kibocsátott sugárzás energiájának nagyobb része a látható fény formájában érkezik a Földre. Ezen a hullámhosszon a Föld légköre átlátszó. A Napból érkező energia nagy részét a Föld felszíne elnyeli, és ennek a sugárzásnak hatására a Föld felszín felmelegszik. A felmelegedés mértéke függ az évszaktól, az egyenlítőtől mért távolságtól, a légkör összetevőitől is. A Föld saját energia kisugárzása a Napból érkező energiához képest jóval kisebb, kivéve a vulkánkitörések környezetét.

A földi légköri gázok a Napból érkező, bizonyos hullámhosszú sugárzást fékezik, vagy megakadályozzák. Az üvegház hatású gázok (ÜHG) a légkörben a Földről kisugárzott energiát részben vagy egészben elnyelik, és ezzel a hatással a Föld felszín és az alsó légkör felmelegszik.

Elméletileg a Föld felszíne addig melegedhet, amíg a Napból nyert energia és a Föld felszín hősugárzása egyensúlyba nem kerül. A valós helyzet ennél alacsonyabb Föld felszíni átlag hőmérsékletet eredményez: kb. +16 °C-ot. A Föld felület átlagos hőmérsékletén a kisugárzás legnagyobb intenzitása $2 \cdot 10^{13}$ 1/sec frekvencia körül van, és ez az érték megegyezik a szén-dioxid molekula rezgési frekvenciájával. Még csekély mennyiségű szén-dioxid is elég ahhoz, hogy visszatartsa a talaj által kisugárzott energia jelentős részét.

A sarki jégtakaróban végzett mérések alapján megállapítható, hogy a jégkorszakban a légkör szén-dioxid koncentrációja 190 ppm lehetett, míg a jégkorszakot követő melegebb időszakban 280 ppm. Ez az érték tekinthető jellemzőnek az ipari forradalom időszakáig. Mára, az emberi tevékenység következményeként a légkör szén-dioxid tartalma 400 ppm fölé emelkedett. 2019. május 12-én a hawaii szigeten lévő Mauna Loa Obszervatórium már 415,26 ppm koncentrációt mért. 2018-ban a koncentráció átlagosan 1,7 ppm-el nőtt. A szén-dioxid szint emelkedésének fő oka a fosszilis energiahordozók egyre fokozódó használata és a Föld növénytakarójának folyamatos gyérítése.

Számítások szerint a légkör szén-dioxid koncentrációjának megkettőzése 1 °C hőmérséklet emelkedést okozna az egyenlítő környékén, és 10 °C hőmérséklet növekedést a sarkkörön. A földi átlagban ez kb. 3 °C emelkedést jelenthet.

Az éghajlat stabilitásához főleg az kell, hogy a Föld légköréből annyi energia jusson ki a világűrbe, mint amennyi oda a Nap sugárzással és a Föld saját hőkibocsátásából bekerül. A Napból mintegy 126 ezer TW energia érkezik a Földre, és a Föld közel ugyanennyit sugároz vissza a világűrbe. Az emberi tevékenység primer energia felhasználása 2018-ban 138605 millió tonna olaj egyenérték volt, ami megfelel kb. 18,5 TW-nak. Mégis, a Nap sugárzáshoz képest elenyésző földi energia felhasználás okozza az egyre gyorsuló klímaváltozást. A természetes üvegház hatás nélkül a Föld átlag hőmérséklete a mai 14 °C helyett -19 °C lenne.

Az éghajlatra természetes és emberi tényezők hatnak. A természetes tényezők: a napciklus, a Föld pályaelemeinek változása, a szárazföldi lemezek mozgása, a tenger áramlatok és a vulkáni tevékenység. Az üvegház hatású gázok légköri többletének fő oka az emberi tevékenység. A változások hosszú távon hatnak, a ma tapasztalható légköri jelenségek még akkor is évekig kísérnek bennünket, ha holnapra visszavesszük az összes légkör szennyezést.

A Föld átlaghőmérsékletének emelkedését a tengerek és a légkör hőmérséklete alakulásával mérjük. Az utóbbi évtizedek globális éghajlat változását az emberi tevékenységnek tulajdonítja minden kutató. Az éghajlat változás az utóbbi évtizedekben gyorsabb, mint az előző évszázadokban. A folyamat várhatóan folytatódik, a klímaváltozás megfékezésére és visszafordítására elhatározott intézkedések ellenére is.

A földtörténet kutatók azt mondják, hogy az éghajlat változás, a földi légkör átlaghőmérsékletének emelkedése részben természetes folyamat, az előző évezredek geológiai hagyatéka igazolja a Föld természetes hőmérséklet ingadozását: csökkenését és emelkedését.

A felszínközeli átlagos hőmérséklet 1880-ban −0,2 °C volt a Földön, 1900-ben még csökkent is: −0,4 °C-ra, de 2000-re már +0,3 °C-ra emelkedett, és 2020-ra már +0,9 °C várható. 1990-hez mérve az 1,3 °C emelkedés nagyon nagynak értékelhető. A városok hőtöbblete ehhez minimális mértékben: 0,002 °C-al járult hozzá. A hőmérséklet változás földrajzilag nem egyenletes, az északi félteke gyorsabban melegszik, mint a déli. Ebben az üvegház hatású gáz kibocsátásnak nincs szerepe.

A tudósok ma is vitatkoznak arról, hogy ezt a hőmérséklet emelkedést milyen mértékben okozták a természetes jelenségek (napsugárzás erősödése, vulkáni tevékenység fokozódása, a Föld pályaelemeinek változása) vagy az emberi tevékenység (többlet energia igény, a közlekedési igény erősödése, a népesség gyarapodása, a mezőgazdasági termékek iránti igény növekedése).

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testület (IPCC) becslése szerint a Föld felszín hőmérséklete 1990 és 2100 között várhatóan +1,1...6,4 °C-al fog nőni, a klímaváltozás megfékezésére tett intézkedések tartalma és hatékonysága függvényében. A mai, elhatározott és végrehajtás alatt álló intézkedések valószínűsítik a +3...3,5 °C hőmérséklet emelkedést.

A levegő a Földet körülvevő gázok elegye. Ma a légkör főbb, átlagos alkotórészei: nitrogén 78%,

oxigén 21%, argon 1% és egyéb nemesgázok. A levegőben találunk még szén-dioxidot, metánt, vízgőzt is. Tartalmaz a levegő még egyéb légszennyező anyagokat is: szén-monoxidot, kéntartalmú gázokat, fluorozott vegyületeket, és port is.

Több, mint 600 millió évvel ezelőtt a Föld légköre főleg szén-dioxidból állt, de a növények a fotoszintézissel a szén-dioxid nagyobb részét oxigénné alakították, a szenet pedig beépítették saját szervezetükbe. A növények szerepe a légkör alakításában ma is változatlan.

Az üvegház hatású gázok közé soroljuk:

| ÜHG gázok | Részvétele az üvegház hatásban (%) |
|---|---|
| vízgőz | 36...70 |
| szén-dioxid | 9...26 |
| metán | 4...9 |
| ózon | 3...7 |

A vízgőz szintén üvegház hatású gáz. A vízgőz szerepe a földi klíma alakulásában mondhatni fontosabb, mint a szén-dioxidé. A vízgőz főleg a tengerek párolgásából ered. A környezeti hőmérséklet emelkedés hatására a szabad vízfelszínek párolgása nő. A szabad vízfelszín, de különösen a felszíni jég visszaveri a Nap sugárzását. Ha a jég felület csökken, akkor a visszavert napsugárzás melegítő hatása fokozódik, nő a Föld felszín hőmérséklete.

További üvegház hatású gázok is kerülnek még a levegőbe, az emberi tevékenység következményeként, például: kén-hexafluorid, a fluorozott szénhidrogének, a perfluor-karbonok. Szerencsére ezeknek a gázoknak a használata elég gyors ütemben kiszorul a napi gyakorlatból.

Az üvegház hatás mérésére vezették be a globális felmelegedési potenciált (GWP), amely az egyes gázok szén-dioxidhoz viszonyított káros hatását fejezik ki. Például: a kén-hexafluorid 15 100-szor károsabb a légkörben, mint a szén-dioxid, vagy a metán 24-szer.

A levegő sűrűsége a hőmérséklettől függően, 101 325 Pa nyomáson (kg/m$^3$):

| | |
|---|---|
| 0 °C-on: | 1,2928 |
| 10 °C-on: | 1,2471 |
| 15 °C-on: | 1,2255 |
| 20 °C-on: | 1,2045 |
| 25 °C-on: | 1,1843 |
| 30 °C-on: | 1,1648 |

A tengerszinttől mért magasság növekedésével a légnyomás csökken, a levegő ritkábbá válik, de a levegő összetétele nem változik.

A levegő páratartalma akkor képződik, amikor a Nap vagy a földi környezet felmelegíti a vizet, és így vízgőz formájában a levegőbe kerül. Magasabb hőmérsékleti környezetben több vízgőz kerül a légkörbe. A légkör melegedésével a légkör pára kapacitása is nő.

A levegő relatív nedvességén az adott hőmérsékleten jelen lévő, illetőleg az e hőmérsékleten telített vízgőz mennyiségének hányadosát értjük. A vízgőzzel telített légtérben nem párolog a víz. Telítetlen légtérben annál nagyobb a párolgás sebessége és az általa okozott lehűlés, minél nagyobb a jelen lévő és az adott hőmérsékleten telített vízgőz mennyiségének a különbsége. Száraznak tekintjük azt a levegőt, amikor a levegő víztartalma kevesebb, mint a telítettségi szinthez tartozó vízmennyiség. Harmatpont az a hőmérséklet, amelyen a harmat jelentkezik, vagyis elkezdenek a levegőben lévő vízmolekulák kondenzálódni, kicsapódni. A köd kialakulását befolyásolják a lecsapódási vagy kondenzációs magvak jelenléte is. A kondenzációs magvak általában a levegőben lévő szilárd porszemcsék. A vízmolekulák ezekre a magvakra rakódnak. Ha ilyenek kerülnek a levegőbe, akkor a ködképződés erőteljesebb lesz. A porral szennyezettebb térségekben gyakoribb a köd képződés.

A levegőben lévő vízgőz mennyisége befolyásolja a földi időjárást, és ezzel a klíma alakulását is. Ha a vízmolekulák mennyisége több a levegőben, akkor melegebb lesz a légkörben, és ez növeli a párolgási sebességet is. Derült időben általában hűvösebb van, mint ugyanebben az időszakban felhős időben, mivel derült időben a földi hő sugárzás szinte teljes mértékben az űrbe távozik. A felhős idő visszatartja a földi kisugárzás jelentős részét.

A tengervíz és a fölötte lévő légrétegek felmelegedésével nő a párolgás is, nő a légkör vízgőz tartalma. A légkör átlagos vízgőz tartalma 1990 óta mintegy 2%-kal nőtt. A vízgőz üvegház hatása erősödik: a felhők elnyelik az infravörös sugárzást, és ennek további melegítő hatása van. A felhők ugyanakkor visszatükrözik a napfény egy részét, ezzel gátolják a Napból eredő felmelegedést. A két hatás egy időben van jelen, de a mértékét azért nehéz megállapítani, mert a vízgőz nem egyenletesen oszlik el a levegőben.

Az elmúlt évtizedekben megnőtt a légkör alsó rétegeinek vízpára tartalma. Ennek okát az emberi tevékenységben kereshetjük. A légkör felső rétegeinek vízpára tartalma az üvegház hatásban kap jelentős szerepet. A felső légkörben a páratartalom növekedése megváltoztatja a csapadék eloszlást, a viharok, tájfunok gyakoriságát és intenzitását.

A melegebb levegő több vízpárát tartalmazhat. 1 °C hőmérséklet emelkedés 6-7%-kal növeli a légkör vízpára megtartó képességét. Jelenleg a légkör alsó rétegeiben évtizedenként átlagosan 0,07 grammal nő 1 kg levegő vízpára tartalma. A kutatók megvizsgáltak egy sor jelenséget és eseményt, a páratartalom növekedés okát keresve. A vizsgálatokban a vulkán kitörések, a napsugárzás intenzitásának változása is szerepelt, de végül a Föld légkörbe visszasugárzásának csökkenését állapították meg, ami alapvetően az emberi tevékenység következménye.

Miben jelentkezik a klímaváltozás?

- Nő a légkör szén-dioxid tartalma (most valamivel 400 ppm fölött van), csökken a Földet körülvevő, és a Föld felszínt óvó ózon koncentrációja, nő a napsugárzás (káros) hatása a Földön.
- A Földön bárhol kibocsátott újabb légszennyező anyag az egész Föld légkörét károsítja, nemcsak a kibocsátó ország légkörét.
- A többlet szén-dioxid miatt nő a csapadék és a felszíni vizek savassága, ezt az élővilág nem tudja tolerálni.
- Nő a Föld légkörének átlagos hőmérséklete:
  - gyorsabban olvad a sarki jég, emelkedik az óceánok szintje. Az olvadó jégből többlet szén-dioxid jut a levegőbe.
  - szaporodnak a szélsőséges időjárási jelenségek: viharok, tájfunok, hófúvások, hatalmas esőzések, nagyon hideg és nagyon meleg időszakok.
  - Magyarország éves átlag hőmérséklete is nő: 2010-ben 10,20 °C, 2015-ben 11,51, 2018-ban 11,99 °C volt. Nyolc év alatt az 1,79 °C átlaghőmérséklet emelkedés nagyon sok.

  - Csökken a fagykár.
  - Elsivatagosodás, ezzel az élelmiszer termelés veszélyeztetése: nagyrészt ennek tulajdoníthatjuk az emberek elvándorlását a forró égövi hazájukból.
- Az időjárás változással szorosan összefüggő megbetegedések száma is gyorsan nő. Az emberek között egyes betegségek és újabb mutánsaik fokozottabban terjedhetnek, a védekezés ellenük rendkívüli költségeket jelenthetnek
- Az erdők kiszáradása, és ezzel lecsökken a növények szén-dioxid megkötése. Az erdészek jelentik, hogy eddig nem látott kártevők is pusztítják az erdőket.
- A légkörbe kerülő szén-dioxid egy részét a tenger vize köti meg, nő a tengerek savassága. A savas vízben a csigák, a rákok, a korallok, a kagylók nem tudják kiválasztani a vízből a vázuk felépítéséhez szükséges mész vegyületeket; megfigyelhető a gyors kipusztulásuk.
- Nő a tengerek hőmérséklete, ennek következtében:
  - a tengervíz hőtágulása a vízszint emelkedését okozza, ez akár 90 millió ember lakhelyét is érintheti,
  - a magasabb tengervíz hőmérséklet a benne élő állatvilágot gyéríti,
  - megváltoznak a tenger áramlatok,
  - a többlet párolgással nő a csapadék mennyisége, időbeli eloszlása eltolódik, a nyári aszályok gyakorisága és súlyossága nő.

Szerencsére a tengerek hőmérsékletének emelkedése elmarad a szárazföldi hőmérséklet emelkedéstől.

- Növény- állatfajok pusztulnak ki vagy költöznek északabbra
- Csökken a növények termésátlaga
- Nő a talaj és a vizek savassága
- Egyre gyakoribbak az erdőtüzek

## A klímaváltozással kapcsolatos néhány kérdés

### *A népesség alakulása*

A mai klimatikus viszonyok mellett, és a jelenlegi gazdasági tendenciák szerint a Föld népessége a következőképp alakulhat a jövő évtizedekben:

| | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 |
|---|---|---|---|---|
| Milliárd fő | 7,4 | 7,8 | 8,5 | 9,2 |

A növekvő népességnek lakásokat kell építeni, nő a közlekedés, több energia kell, több élelmiszert kell előállítani. Ha a mai tendencia folytatódik, akkor 2040-re a Föld átlag hőmérséklete akár +6 °C-al is nőhet. Ennek következménye lehet az idősebb népesség gyakoribb megbetegedése és gyorsabb fogyása, az átlag életkor csökkenése. Számítások szerint a +6 °C átlag hőmérséklet emelkedés egyik következménye lehet, hogy a Föld népességének gyarapodása megáll.

### *Golf áramlat*

Az Atlanti-óceánban kialakuló Golf áramlat Európa – főleg Nyugat Európa – időjárása alakulásában nagyon fontos szerepet tölt be. A Golf áramlatot a Grönlandi-tenger jég borította vizeiben végbemenő folyamat tartja mozgásban. Amikor a tengervíz kezd megfagyni, a folyékony halmazállapotban maradó víz sótartalma és sűrűsége megnő. A sűrűbb víztömegek lassan lesüllyednek a tengerfenékre, és útjukat a Déli-sark irányába veszik, lehetővé téve ezzel a meleg víztömegek áramlását a trópusokról az Északi-sarkvidék felé. A Golf áramlat jóval melegebbé teszi Nyugat-Európa éghajlatát, és enyhébbé teszik az észak-európai teleket. Ez a hőmérséklet különbség akár 3 °C is lehet, mint például az azonos szélességi körön lévő kanadai tengerparti sávban. A klímaváltozás miatt megnövekvő sarki jég olvadás hígítja a tengervíz só koncentrációját, ezzel a Golf tengeráramlat hatásait mérsékelheti, az áramlat délebbre tolódhat.

### *A mezőgazdaság szerepe*

A klímaváltozást befolyásoló tényezők között jelentős a mezőgazdaságé. Egyes kutatások szerint a mezőgazdaság a szén-dioxid és metán kibocsátással 12...23%-ban járul hozzá a felmelegedéshez. Ebben a számításban a föld műveléshez szükséges gépi munka légszennyezését, a műtrágyák használatát, a rizsföldeken keletkező metán kibocsátást és az állattartás metán és szén-dioxid kibocsátását jelölték meg a legfontosabb tényezőkként.

A felmelegedés ugyanakkor a termésátlagok csökkenését is eredményezi: számítások szerint 0,5 °C földi átlaghőmérséklet emelkedés 3...5%-os terméshozam csökkenést eredményez.

### *Átalakul a közlekedés*

A világ minden országában felismerték, hogy a közlekedés légkört károsító hatását csökkenteni kellene. Az egyes országok gazdasági struktúrája, a lakosság száma és földrajzi elhelyezkedése, az életszínvonal jelentősen befolyásolja a személy- és áruforgalom szállítási igényét. A légi közlekedés erősödik, a hajtóanyag igény nő. Kísérletek folynak a bioüzemanyagok nagyobb mértékű alkalmazására, és érdekesség, hogy felszállt az első hatszemélyes teljesen villamos hajtású repülő is. 2050-ig nem lehet számítani a repülés szénhidrogén igényének csökkenésére.

A vasúti közlekedésben erősödik a villamos hajtás, de a szénhidrogének szerepe 2050-ig egyre csökkenő mértékben bár, de még jelen lesz.

A közúti közlekedésben látszik legnagyobb előrelépés: a gépjármű fejlesztésben és a közlekedés szabályozásában. A villamos hajtású és a hibrid autók az üzemanyagok nagyobb hatásfokú hasznosítását eredményezik, ezzel a légkör szennyezést is csökkentik. A bioüzemanyagok bekeverése a benzinbe és a gázolajba a járműállomány állapotától függ, általában maximális mértékű a bekeverés. Magyarországon is elindult a 10% bioetanol tartalmú benzinek forgalmazása.

### *A GDP alakulása*

A közgazdászok is készítettek elemzéseket a klímaváltozás várható hatásáról a világ gazdasági folyamataira. A GDP alakulását ebből a szempontból a klímaváltozás megfékezésére fordított összegek befolyásolják leginkább. Számításaik szerint a GDP 1%-át kellene fordítani klímavédelemre, és ezzel el lehetne kerülni azt, hogy a GDP akár 20%-kal csökkenjen, ha az ölbe tett kéz stratégiát választjuk.

A világ minden térségében felismerték a légkörvédelem tennivalóit. A legtöbb országban léptek is a károsanyag kibocsátás csökkentésére. Sajnos, a világ vezető hatalmai – az USA és Oroszország – igencsak mérsékelt aktivitást mutatnak ezen a téren.

[1] https://ofi.hu/3
[2] https://hu.wikipedia.org/wiki/Globalis_felmelegedes

# Wiegand Győző 85 éves

A 70 éves Energiagazdálkodási Tudományos Egyesületnek sok régi hűséges, aktív tagja van. Kiemelkedik azonban közülük Wiegand Győző, aki 1966 óta tagja és 1982-től tisztségviselője az Egyesületnek. 1982-ben választották főtitkár-helyettessé, majd 1986-ban főtitkárrá. A főtitkári feladatokat 15 évig látta el, majd 2001-től az Egyesület elnökhelyettese. Társadalmi munkában Ő látja az egyesületi központ vezetésének feladatait is. Munkássága elismeréseként, eredményes egyesületi tevékenységéért Szikla Géza-díjban, Szabó Imre-díjban, Kerényi A. Ödön-díjban és MTESZ-díjban részesült. 2008-ban Eötvös Lóránd-díjat kapott. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Szenátusa 2008-ban arany diploma adományozásával ismerte el értékes mérnöki tevékenységét. Wiegand Győző évtizedeken keresztül szervezője, résztvevője az ETE szakmai rendezvényeinek. Közre működött az 1982-ben megalakult és azóta eredményesen működő Szenior Klub létrehozásában. Hagyományosan őt kérik fel a Klub őszi programja keretében az indító előadás és a konzultáció megtartására.

Wiegand Győző, okleveles villamosmérnök, a magyar energiaipar meghatározó személyisége, 1934. december 10-én született Budapesten. Elemi iskoláit a háború alatt Újpesten végezte. A háború után, 1945-ben a Lónyai utcai Református Gimnáziumban folytatta a tanulást, ahol hét évet járt. Az iskolát 1952-ben államosították, így az érettségi előtti utolsó évben az újpesti Könyves Kálmán Gimnáziumba került. 1953-ban itt érettségizett. Egyetemi tanulmányait az Eötvös Loránd Tudományegyetem fizikusi szakán kezdte, ahonnan két évfolyam elvégzése után a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán folytatta. 1958-ban itt szerzett villamosmérnöki oklevelet. Később levelezőként a Műegyetemen a hőerőmű gépész szakot is elvégezte.

Frissen végzett mérnökként az Erőmű Trösztnél kezdett dolgozni, ahonnan egy év üzemi gyakorlatra az Újpesti Erőműhöz helyezték ki. Ennek letelte után két évig a Tröszt hőtechnikai szolgálatánál dolgozott, majd az akkor épülő Oroszlányi Hőerőműnél kapott osztályvezetői állást. Az erőmű üzembe helyezését követően, 1962-ben – mint már gyakorlati tapasztalatokat szerzett fiatal szakembert – a Nehézipari Minisztériumban alkalmazták csoportvezető főmérnöki munkakörben. Itt dolgozott 1973-ig, az első időszakban a villamosenergia-ipar távlati tervezésével foglalkozott, majd Szili Géza energetikai miniszterhelyettes műszaki titkára – mai szóhasználattal kabinet főnöke – volt. A minisztériumban módja volt megismerni a villamosenergia-ipar, illetve az egész energiaipar működésének és fejlesztésének szinte minden lényeges kérdését. 1973-ban kinevezték az Állami Energetikai- és Energiabiztonságtechnikai Felügyelet (ÁEEF) főmérnökének. 1978-tól az intézmény igazgató-helyettese, 1979-től 2001-ig pedig az igazgatója.

Ez a szervezet foglalkozott abban az időszakban az ország energia tervezésével, energiagazdálkodásával, készítette az energia mérlegeket, energia statisztikát, vizsgálta és ellenőrizte az energetikában működő veszélyes berendezéseket, köztük az akkor épülő Paksi Atomerőművet is. A nukleáris biztonságtechnikai felügyelet létrehozása és működésének megszervezése az ő irányításával történt. Az atomerőmű sikeres üzembe helyezéséért és biztonságos működéséért magas kormánykitüntetésben részesült.

1991-től 2000-ig a független intézménnyé alakult Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonsági Főfelügyeletének vezetője volt.

1985-től tagja volt az MVM Tröszt Felügyelő Bizottságának, majd a Távfűtő Művek Felügyelő Bizottságának. 1994–1999 között a MOL, 2002–2005 között a Magyar Villamos Művek Rt. Igazgatóságának, később a Mavir Zrt. Igazgatóságának volt tagja.

Wiegand Győző szakmai tevékenységét az energetika területén fejtette ki. Mind a villamos energetika, mind az olaj- és gázipar, az energiagazdálkodás, valamint az atomenergetika területeivel több éven keresztül foglalkozott, e szakterületeken számos publikációja jelent meg, s nagyszámú előadást tartott.

Az Energiagazdálkodás 2010. évi 2. számában „A jövő az energetikában is érdekesnek ígérkezik” címmel 54 kérdés köré csoportosítva tette közé gondolatait, amelyeket ajánlunk olvasóink figyelmébe. 7 kérdésben foglalkozik a 2019-ben sokat emlegetett klímaváltozással. 10 évvel ezelőtt többek között a következőképpen foglalt állást:

„Ma általánosan elfogadott, hogy az energetika jövőbeni fejlődésére döntő befolyást fog gyakorolni a klímaváltozás, illetve a klímaváltozás mérséklésének kényszere. Az energiafogyasztás, valamint az energiatermelés jövőben alakulásával kapcsolatosan megelőzően megfogalmazott kérdések nagy része közvetlenül vagy közvetetten összefügg a $CO_2$ kibocsátás korlátozásának igényével. Úgy vélem indokolt ezeket a kérdéseket még néhány, a klímaváltozás bizonytalanságaival összefüggő kérdéssel kiegészíteni.

a) A jelenlegi és a jövőben várható $CO_2$ kibocsátás függvényében a globális felmelegedés mértékét – a különböző feltételezések szerint alkalmazott modellektől függően – eltérően prognosztizálják. A peszszimista prognózisok szerint, ha a $CO_2$ kibocsátás növekedését nem sikerül megállítani, úgy az évszázad végéig a föld átlaghőmérséklete kb. 10 °C-kal fog növekedni. Az optimista prognózisok – ugyanezen feltételek mellett, egy nagyságrenddel kisebbre, 1 °C-ra valószínűsítik az átlaghőmérséklet növekedést. A bizonytalanság végzetesen nagy. 10 °C átlaghőmérséklet növekedés a föld jelentős részén lehetetlenné tenné az emberi életet. (A trópusokon elviselhetetlen nyári meleg, valamint katasztrofális tengerszint növekedés következne be.) Míg az 1°C átlaghőmérséklet emelkedés hatása csak kisebb nehézségeket okozna.

Kérdés (42): Talán a XXI. század emberiségének legdöntőbb kérdése, hogy a klímaváltozási modellek melyike írja le helyesen a föld éghajlatának jövőbeni alakulását? (Ha a „10 °C-os” modell a helyes, akkor a legdrasztikusabb $CO_2$ kibocsátás csökkentési erőfeszítésekkel sem lehet ma már elkerülni a katasztrófát. Ha az „1 °C-os” modell a jó, a reálisan végrehajtható programok teljesítésével – valamint az olaj és földgáz készletek elfogyásával – a folyamatok elfogadható keretek között tarthatók, illetve maradnak. Természetesen a „10 °C-os” és az „1 °C-os” modellek közötti bármilyen globális felmelegedési „forgatókönyv” megvalósulása elképzelhető. A felmelegedés mértékének növekedésével a kezelhetőtől az egyre katasztrofálisabbá váló következményekig.)

b) Kérdés (43): Képes lesz-e az EU ambiciózus klímaprogramjával számottevő befolyást gyakorolni a világ $CO_2$ kibocsátásának alakulására? (Erre csak akkor van esély, ha jelentős követőkre talál, mivel az EU a világ energiafogyasztásának, így $CO_2$ kibocsátásnak is csak kb. 15%-át produkálja.)

c) Kérdés (44): Tudja-e teljesíteni az EU az általa kitűzött célokat? (Ez a részcélok teljesüléséből már néhány éven belül láthatóvá válik.)

d) Kérdés (45): Követik-e más nagy energiafogyasztó országok az EU példáját, vagy az EU lényegében egyedül marad?

Kérdés (47): sikerül-e rászorítani elsősorban Kínát, másodsorban Indiát, harmadsorban az összes fejlődő országot, hogy szigorú $CO_2$ kibocsátás mérséklő intézkedéseket vezessenek be annak ellenére, hogy az egy főre eső kibocsátásuk lényegesen alacsonyabb, illetve a töredékét teszi ki a fejlett országokénak, különösen az USA-énak? (Feltételezhetően akkor van erre esély, ha a klímaváltozás következményei – tengerszint emelkedés, és az elviselhetetlen meleg – számukra is súlyos konkrét problémát okozna. Valószínűleg ez már késő.)”

A http://ete-net.hu/enga/korabbi-szamok/ címről letölthető Energiagazdálkodás 2011. évi 2. számában néhány kérdésre az eltelt egy év távlatában válaszol.

Wiegand Győző 85. születésnapja alkalmából gratulálunk, további tevékenységéhez jó erőt, egészséget kívánunk.

# Dr. Stróbl Alajos 80 éves

Az erőmű mellett nevelkedett ifjú megmaradt nyolcvan évesen is a szakmájában, bár már sok egyébbel szintén foglalkozik. Az energetika több mint hat és fél évtizede leköti, érte dolgozik, ha néha nem is elégedett a hírekkel, mert a fejlődés kétségeit, buktatóit látja. Az ERŐTERV-ben 1962-ben kezdett mérnökként hasznos és értékes munkát végezni – számos kiegészítő nyári idénymunka után. Meg is találta a helyét, mert akkor még ez a nagy cég több erőművet tervezett. Amikor ennél a cégnél felmondott 2017 végén, már elkeseredetten jelezte, hogy szinte véget ért az erőműtervezés hazánkban. Paks maradt, de ott az oroszok a meghatározók. Amikor a múlt század nyolcvanas éveinek elején tömérdek kis orosz rajzból rajzolta össze a primer- és szekunderköri csősémát egy-egy nagyméretűvé, rájött, hogy most változtatni kell. Még öt éven át a németeknél tervezett és üzembe helyezett egy szénerőművet, aztán a svédek részére egy szenet elgázosító erőmű volt a fő feladata, de abból nem lett semmi, mert a környezetet védők lefújták. Itthon az MVM nyújtott neki menedéket stratégiai feladatokkal. innen tizenegy év után a politikai hatástól menekülve a MAVIR-ban dolgozott még négy évet aktívan, majd tizenötöt kiegészítésként. Közben öt évig a Pécsi Erőmű igazgatóságának elnöke, majd a felügyelő bizottságának a tagja volt. Ilyen minőségben a privatizált Dunamenti Erőműnél is működött. Pécsett a legnagyobb élményt a bányászat megismerése jelentette számára. Apai dédapja valaha egy lengyel bányatársaságnál dolgozott, így visszatérhetett ősei foglalkozásához.

Eredeti szakmájában maradva most naponta figyeli a világ, az európai és a hazai villamosenergia-ipar helyzetét, előadásokat tart és vitatkozik. Negyedévente sok színes ábrából készít friss szakmai tájékoztatókat. Emellett két újabb tevékenység teszi teljessé életét. Nagyapja, a szobrász Stróbl Alajos emlékműveiből állít össze füzeteket, illetve róla is tart bemutatókat az érdeklődők részére. Újabban a Csonka János múzeumban tárlatvezető. Felesége nagyapja volt a hazai autó- és motorgyártás úttörője, a porlasztó társfeltalálója. Minden szombat délelőtt bemutatja a 110 éves autókat, motorokat, dokumentumokat a Bartók Béla úti (31.) kiállító teremben, ahonnan közel száz éve a konstruktőr a gyárát beindította. Sajnálja, hogy ma viszonylag kevesen járnak múzeumba, pedig van mit tanulni elődjeinktől.

A jövőt a tizenegy unokája jelenti számára. Azt mondja, mindegyik más jellem, nem akarja Őket különösebben befolyásolni, de az egyiket már sikerült az energetikus pályára irányítania. Családon belül is bízik a szakmai utánpótlásban.

80. születésnapja alkalmából gratulálunk, további tevékenységéhez jó erőt, egészséget kívánunk.

# Korcsog György 75 éves

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület fontosnak tekinti területi szervezetei tevékenységét. Szervezettségében és aktivitásában is példamutató a Hajdú-Bihar megyei Csoport, amelynek elnöke 1990 óta Korcsog György.

Korcsog György 1968 óta tagja az ETE-nek, harmadik ciklusban az Egyesület elnökhelyettese és a Díjbizottságának elnöke. Számtalan szakmai konferencián tartott előadást. Szívügyének tekinti a keleti régió energetikusainak összetartását. Példamutatóan vallja, „ha az ember szereti és érti azt, amit csinál, annak kitartó és elkötelezett munkával megszületik az eredménye”.

Korcsog György 1944. december 8-án Pásztón született. A gyöngyösi Vak Bottyán Gimnáziumban érettségizett, majd a MÜM 30. sz. Ipari Tanintézetében műszerész oklevelet szerzett. 1971-ben a BME Gépészmérnöki Karán kalorikus mérnök, 1979-ben ugyanitt energia termelési szakmérnöki oklevelet szerzett.

A szakmában először a Röck István Gépgyár kazánszerkesztésén dolgozott, majd a Mátrai Erőműben üzembehelyező, ügyeletes mérnök, üzemzavar-felügyelő, valamint üzemviteli vezető volt. 1980-tól irányította a Debreceni, 2003-tól a 2009. évi nyugdíjba vonulásáig a Nyíregyházi Erőművet is. Vezetésével épült, majd 1999-ben Debrecenben, 2006-ban Nyíregyházán helyezték üzembe a korszerű gáz-gőz körfolyamatú 100 MW-os erőművet.

Pályafutása, munkahelyi és társadalmi tevékenysége során is, fontos volt számára a jó kollektív szellem és a sikeres csapatmunka. A 2014-2019 ciklusban Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzatának képviselője volt. Az ETE tagsága mellett, tagja a Magyar Kapcsolt Energia Társaságnak (MKET) és a Magyar Elektrotechnikai Egyesületnek (MEE). Munkáját a szakmai egyesületek kitüntetésekkel értékelték. MTESZ Kiváló Munkáért Díj tulajdonosa. Megkapta a Szikla Géza díjat (ETE) és a Heller László díjat (MKET 2014).

Az alkotás, értékteremtés végigkísérte és meghatározta életét, pályafutását. A szakma és a munka szeretete naponta inspirálta az újabb sikerek eléréséért. 75. születésnapja alkalmából gratulálunk, további tevékenységéhez jó erőt, egészséget kívánunk.

# FELHÍVÁS

## A 2020-AS ENERGIAHATÉKONYSÁGI KIVÁLÓSÁGI PÁLYÁZATBAN VALÓ RÉSZVÉTELRE

A Virtuális Erőmű Program (VEP) a köztársasági elnök által fővédnökölt és az Európai Bizottság által a legjobb három uniós energiahatékonysági program közé választott fenntarthatósági kezdeményezés, melynek célja, hogy a partnerek energia- és CO2 megtakarításait pályázatain és projektjein keresztül összegyűjtse, bemutassa, jó példáikat megossza és díjazza.

Az el nem használt és így egy fosszilis, szennyező erőműben meg nem termelt, tehát kiváltott energia egységekből egy „virtuális erőmű" épül, mely mára az ország 4. legnagyobb villamos erőművévé vált.

Mintegy 9.000 vállalati, 350.000 diák, több száz önkormányzati, valamint intézményi és lakossági partnerével a VEP a legszélesebb körű nonprofit fenntarthatósági kezdeményezés Közép-Kelet Európában.

Célunk, hogy a Virtuális Erőmű Program 2030-ra a mostani hatodik helyről Magyarország második legnagyobb erőműve legyen.

A díjátadó a tervek szerint megszokott régi helyszínen, a Parlamentben kerül megrendezésre.

**2020-ban meghirdetett pályázatok:**

**Energiatudatos Vállalat és Energiatudatos Intézmény.**

**Energiahatékony Vállalat és Energiahatékony Intézmény.**

**Energiatudatos és  Energiahatékony Iskola.**

**Energiatudatos és Energiahatékony Önkormányzat.**

**Egyéni szakértőket** is díjaznak az Energiahatékonysági Kiválósági Pályázat keretében. Olyan személyek jelentkezését várják, akik kiemelkedő teljesítményt nyújtottak energetikai területen. 2020-ban az alábbi kategóriákban került sor a pályázat meghirdetésére:

1. Az év energetikai tanácsadója 2020
2. Az év megújuló energetikai fejlesztője 2020
3. Az év energetikusa/energiamenedzsere 2020
4. Az év fiatal energetikai szakértője 2020

**A PÁLYÁZATOK BEKÜLDÉSÉNEK HATÁRIDEJE: 2020. FEBRUÁR 7.**

**Bővebb információ a pályázatokról:** http://www.mi6.hu/2020-palyazatok

Oletics Zoltán (zoltan.oletics@mi6.hu és 06 30 847 7739)

Kányádi Sándor

## Csendes pohárköszöntő újév reggelén

Nem kívánok senkinek se
különösebben nagy dolgot.
Mindenki, amennyire tud,
legyen boldog.
Érje el, ki mit szeretne,
s ha elérte, többre vágyjon,
s megint többre. Tiszta szívből
ezt kívánom.
Szaporodjon ez az ország
Emberségbe', hitbe', kedvbe',
s ki honnan jött, soha soha
ne feledje.
Mert míg tudod, ki vagy, mért vagy,
vissza nem fognak a kátyúk…
A többit majd apródonként
megcsináljuk.
Végül pedig azt kívánom,
legyen béke. –
Gyönyörködjünk még sokáig
a lehulló hópihékbe'!

**Kellemes karácsonyi ünnepeket és boldog új esztendőt kíván minden kedves olvasójának az**

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS