

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

66. évfolyam 2025. 3. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

HŐSZOLGÁLTATÁSI SZAKOSZTÁLYA

38.

TÁVHŐ VÁNDORGYŰLÉS

„Kevesebb primer – Több megújuló”

**A hatékony távhővé válás
lehetőségei**

SIÓFOK

2025. szeptember 16-17.

Információk:
tavho.clubservice-event.hu

60 ÉVES A HŐSZOLGÁLTATÁSI SZAKOSZTÁLY

BEVARRT SZIGETELÉSI MEGOLDÁSOK 2011 ÓTA

Maximális hatékonyság:

Csökkentse az energiafogyasztást
és a működési költségeket.

Fenntarthatóság a középpontban:

Újrafelhasználható szigetelés, kevesebb
hulladékkal és hosszabb élettartammal.

Egyedi igényekre szabva:

Minden alkalmazáshoz tökéletesen
illeszkedő megoldások.



Sikeresen implementálva világszerte
20+ országban, 200+ helyszínen



✉ info@kelvintech.hu  www.kelvintech.hu

50% VILLAMOSENERGIA- MEGTAKARÍTÁS ÉS 100% HULLADÉK- ELKERÜLÉS A LÉGKEZELŐ BERENDEZÉSEKBEN

LEVEGŐSZŰRÉS
SZAGTALANÍTÁS
FERTŐTLENÍTÉS

VEGYSZER- ÉS
FOGYÓESZKÖZ-MENTES

ELEKTROSZTATIKUS SZŰRÉS

KOMFORT LÉGTECHNIKA
NAGYKONYHAI LÉGKEZELŐK
IPARI LEVEGŐSZŰRÉS

WWW.NUXON.HU
+36205413331



ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

66. évfolyam 2025. 3

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Főszerkesztő:

Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:

Dr. Groniewsky Axel

Szerkesztőség vezető:

Kaposvári Regina

Szerkesztőbizottság:

Dr. Balikó Sándor, Dr. Bihari Péter,
Czinege Zoltán, Dr. Csűrös Tibor,
Dr. Farkas István, Juhász Sándor,
Korcsog György, Kövesdi Zsolt,
Dr. Laza Tamás, Mezei Károly,
Molnár Ferenc, PhD, Móczár Botond Máté,
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:

Dr. Kiss Csaba, az ETE elnöke

A szerkesztőség 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: eng@ete-net.hu

Megjelenik kéthavonta.

Előfizetési díj egy évre: 8000 Ft

Egy szám ára: 1350 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 András

bukiandras@t-online.hu

Nyomdai munkák:

EFO Nyomda

www.efonyomda.hu

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Tartalom

Content

Inhalt

Energiapolitika * Energy Policy *

Energie Politik

Nagy Valéria

Energiasok(k)

Energy shock

Energieschock

Hidrogén * Hydrogen * Wassersaft

Cséfalvay Edit, Laza Tamás

Alternatív hidrogénelőállítás

eljárások értékelése

Evaluation of alternative hydrogen

production processes

Evaluierung alternativer Verfahren zur

Wasserstoffherzeugung

Klímváltozás * Climate change *

Klimawandel

Reményi Károly

Gondolatok a klímaváltozás

narratíváiról

Thoughts on Climate Change

Narratives

Gedanken zu den Narrativen

des Klimawandels

Szilágyi Zsombor

Szén-dioxid kvóta szabályozás

Carbon dioxide quota regulation

Kohlendioxid-Quotenregelung

LNG * LNG * LNG

Szilágyi Zsombor

Az LNG jövője

Prospects of LNG

Die Zukunft von LNG

KLENEN'25 konferencia * KLENEN'25

conference * KLENEN'25 Konferenz

1 Ciceu Dániel

EN 17956:2024 szabvány bemutatása és
hatásainak elemzése

25

Presentation and impact analysis of

EN 17956:2024 standard

Präsentation und Wirkungsanalyse

der EN 17956:2024

2

Baracska Attila

Az energia, ami számít: Intelligens
technológiák a költségcsökkentés és

fenntarthatóság érdekében

28

The energy that matters: intelligent

technologies for cost reduction

and sustainability

Die Energie, die zählt: Intelligente

Technologien zur Kostensenkung und

Nachhaltigkeit

Lukács Pál

A hidrogén lehetséges szerepe

a jövő járműhajtási rendszereiben

32

The potential role of hydrogen

in future vehicle drive systems

13

Die potenzielle Rolle von Wasserstoff

in künftigen Fahrzeugantriebssystemen

Szolga Larisza, Kustán Réka

Geotermikus energia szerepe

a közlekedési infrastruktúra zöldítésében

37

The role of geothermal energy in greening

transport infrastructure

20

Die Rolle der Geothermie bei der

Ökologisierung der Verkehrsinfrastruktur

23

ETE Hírek * ETE News *

ETE Nachrichten

2025. évi egyesületi küldött közgyűlés

42

2025 Association Delegates' General

Meeting

Mitgliederversammlung der

Vereinsdelegierten 2025

Lapunkat rendszeresen
szemléli a megújult

 OBSERVER

www.observer.hu

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.

Energiasok(k)

Nagy Valéria

Szegedi Tudományegyetem, Mérnöki Kar; valinagy@mk.u-szeged.hu

Az energiaalapú gazdaság hatékony és önfenntartó kialakításához az energetikai rendszernek változnia kell, mint ahogyan a gazdaság is változásokon ment keresztül: korábban erőforrásvezérelt volt, később hatékonyságvezérelt, jelenleg pedig az innovációvezérelt állomása felé tart. A gazdaság (projektalapú) működ(tet)ése során jelentkező energetikai problémák kreatív megoldást kívánnak, vagyis az energetikai komponensek többszempontú megközelítésével, kísérletezéssel, illetve a követelmények érvényre juttatásával egyértelmű válaszok adhatók a felmerülő kérdésekre.

Energiastatisztikai elemzések készítésekor sosem a „számok” a fontosak, hanem ami mögöttük van, vagyis a sok energia ≠ energiasokk. A mögöttes tartalom feltárható hasznosság-elvű hozzáállással kérdéseket feltéve, járulékos hozadékként pedig új kihívásokra lehet előre reagálni. Néhány kérdés, amelyek választ várnak: Vajon miért ennyire kitett az emberiség az energiafelhasználásnak? Társadalmi problémával állunk szemben vagy tulajdonképpen lehetőségünk van egy élhetően környezetkímélő és hatékony életter kialakítására?

Az emberi viselkedést elsősorban gondolkodásának mélyebb rétege irányítja. A probléma felszíne alatt húzódó valódi problémaforrásra irányítható a figyelem a Freud-i jéghegy metaforával. A megválaszolandó kérdések tartalmi elemeit a Bartee-féle szemlélettel egy problématerbe helyezve, az esetleges problémákat építő módon lehet és kell megoldani. Tulajdonképpen át kell értékelni az adott helyzetet, ezáltal pedig át lehet keretezni, de kerülendő a kis probléma súlyosnak mutatása és fordítva. A (komplex) rendszereknek – így az energetikai rendszernek is – egyik sajátja, hogy érvényes a feltétlenül szükséges változatosság törvénye. Az okirányított típusú rendszernek tekinthető energetikai rendszer tehát a hibát generáló okok által vezérelhető/szabályozható. Az energetikai rendszer és az energetika belső rendszerének vizsgálata során pedig az operációkutatás elveire is támaszkodhatunk.

*

The energy system must change for the efficient and self-sustaining development of an energy-based economy, just as the economy itself has undergone changes: previously it was resource-driven, later efficiency-driven, and currently it is moving towards its innovation-driven stage. The energy problems that occur during the (project-based) operation of the economy require creative solutions. In fact, the emerging questions can be answered clearly by a multi-aspect approach to energy components, experimentation, and ensuring requirements.

When preparing energy statistical analyses, it is never the “numbers” that are important, but what is behind them, i.e. a lot of energy ≠ energy shock. The background content can be explored by asking questions with a utilitarian approach, and new challenges can be responded to in advance as an additional benefit. Some questions that are waiting to be answered: Why is humanity so exposed to energy consumption? Are we facing a social problem or is there actually an opportunity to create a liveable, environmentally friendly and efficient living space?

Human behaviour is primarily driven by the deeper layers of the thinking. The Freud's iceberg metaphor can be used to draw attention to the real source of the problem beneath the surface. Potential problems can and should be solved constructively by interpreting the elements of the questions to be answered in a problem space using Bartee's approach. In fact, the given situation must be re-evaluated, so it can be re-phrased, but it must be avoided to show a small problem as serious and vice versa. One of the characteristics of (complex) systems – such as the energy system – is that the law of absolutely necessary variability prevails. The energy system, which can be considered a cause-driven type system, can therefore be controlled/regulated by the causes that generate the error. The basic principles of operations research can be relied on when examining the energy system and the internal system of energy.

A természettel való szembenállás sohasem tisztán közvetlen, hanem mindig gazdaságilag közvetett, és a gazdasági átrendeződés következtében, illetve a gazdaságélénkítés folyamán egyre közvetetlenebbé válik. Az energiaalapú gazdaság hatékony és önfenntartó jellegének szükségessége ma már nem vitatott, de ennek megértéséhez alapvetésként kezelendő, hogy a sok energia ≠ energiasokk. A globális gondolkodás azonban mindig akadályokba ütközik. Tekintettel arra, hogy az energetikai rendszer alapvetően az energia(ellátás)biztonság, vagyis a stabil energiakörfolyamatok, az energiatárolási lehetőség, a megbízható rendelkezésre állás, az energiahatékonyság és a megfizethetőség, továbbá a vélt vagy valós környezeti hatás (terhelés, szennyezés, károsítás) köré szerveződik. Ezért a különböző területek, diszciplínák kutatóinak mediátor szerepet kell betölteniük a társadalmi szintű energetikai problémák megoldásakor.

A már említett „Vajon miért ennyire kitett az emberiség az energiafelhasználásnak?”, illetve a „Társadalmi problémával állunk szemben vagy tulajdonképpen lehetőségünk van egy élhetően környezetkímélő és hatékony életter kialakítására?” kérdésekre kérdésekkel reagálva fel tudjuk hívni a figyelmet arra, hogy előfordul(hat)nak olyan problémák is, amelyek (jelenleg még) nem nyilvánvalóak, de előre jelezhetők és fel lehet rájuk készülni vagy éppen irányítani lehet azokat is.

És akkor álljon itt néhány „reakciós” kérdés a témakörből:

- A revideált (felülvizsgált, ellenőrzött) energiasztatisztikai adatokat hogyan lehet „lefordítani” mérnöki nyelvre?
- Hogyan lesz az energiaadatokból információ?
- Felelősséget tudunk/lehet/kell vállalni olyan dologért, amit nem tudunk/nem lehet áttekinteni?

A közlemény ezeknek a kérdéseknek a részbeni megválaszolásával foglalkozik oly módon, hogy lehetőségeket vázol elméleti síkon a kérdések megválaszolásakor felmerülő problémák, rejtett problémák figyelembe vételére, illetve azok megoldására. Ezek a megközelítések természetesen a gyakorlatban is alkalmazhatók az adott helyzetben értelmezett perem- és keretfeltételek mellett.

1. táblázat. Végso energiafelhasználás [2]

Év	1995	2003	2020	2021	2022
Szektorösszes végso energiafelhasználás (Mezőgazdaság; Ipar; Közlekedés; Kereskedelmi és közcélú szolgáltatások; Honvédelem; Lakosság)	652,2 PJ	720,6 PJ	735,6 PJ	785,0 PJ	748,0 PJ

Energiafelhasználási kitekintés

Az előbbieken feltett kérdések megválaszolásához a nulladik lépés első állomása, hogy áttekintjük hazánk végso energiafelhasználását évenként/évcsoportonként, szektoronként, illetve összességében. Ez utóbbit láttatja az 1. táblázat. A táblázat csupán néhány jellemző év [1] energiafelhasználását tartalmazza, mégpedig:

- 1995: „Internetforradalom” kezdete, informatikai infrastruktúra kiépítése, adatközpontok létrehozása
- 2003: európai hőhullám, éreztette hatását hazánkban is
- 2020: COVID-19 világjárvány
- 2021: pandémia utáni visszatérés, gazdaságfejlesztési intézkedések, tevékenységek „normalizálódása”
- 2022: energiaárak globális emelkedése, szomszédos országok háborús helyzete

A nulladik lépés következő állomása, hogy azonosítjuk az energetikai rendszer típusát. Ismeretes, hogy a hibairányított típusú rendszerek entrópiája nem csökkenthető nullára, míg az energetikai rendszer – mint okirányított típusú rendszer – a hibát generáló okok által irányítható (vezérelhető/szabályozható) [3]. A rendszerszemlélet ugyan társadalmi igény, de az energetikában az operációkutatás bizonyul eredményesnek. Jellemzői röviden talán a következőképpen összegezhetők:

- végso célja nem a komplex rendszer megértése
- nem gyűjt több információt, mint amit a feladat elvégzése megkíván
- nem tételezi fel a rendszer abszolút változatlanságát

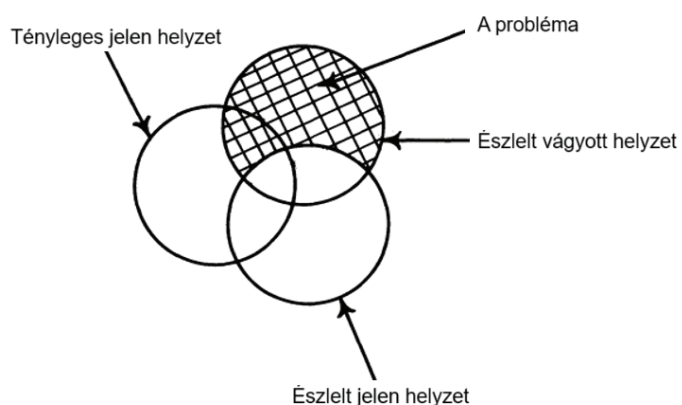
Tekintettel arra, hogy egy energiaalapú gazdaságban az alacsony kockázatokat rejtő problémák meglete tapasztalatok szerzését teszi lehetővé, ezért ilyen „váratlan” helyzetek mesterségesen is előidézhetők, és közben megfigyelhetők a hatások.

Az eddigiek figyelembevételével a probléma tehát úgy definiálható, mint kielégítetlen szükséglet és igény arra vonatkozóan, hogy egy észlelt jelenlegi helyzet/állapot fenntartható legyen vagy egy vélt kívánt helyzetté/célállapottá legyen változtatható. Egy probléma pedig akkor tekinthető megoldottnak, ha az észlelt jelen helyzetet és a kívánt helyzetet „azonosnak” (vagy legalább elfogadhatónak) érzékeljük. A problémamegoldás pedig az a tevékenység, amely a probléma állapotának megoldási állapotba való átváltásával kapcsolatos és amely során a problémák kisebb részproblémákra bontása is megtörténik.

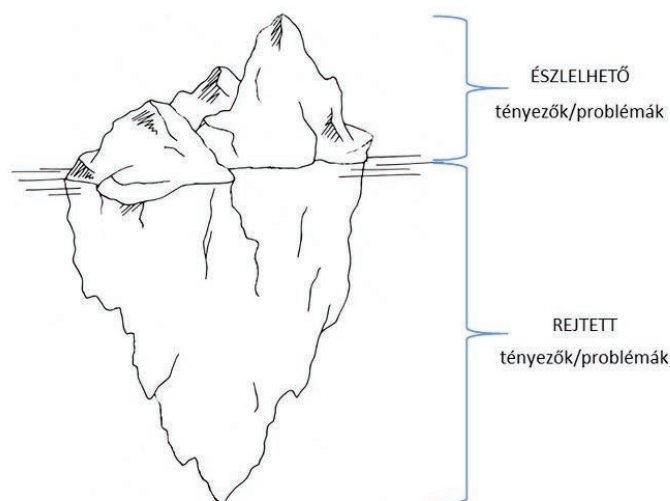
Módszerek

Bartee-féle szemlélettel [4] ráirányítható a figyelem a nyilvánvaló és a nem nyilvánvaló problémákra egyaránt (1. ábra).

Ezt követően kiválaszthatók azok, amelyekre lehetőségként tekinthetünk, ami valami újat sejtet. Ebben segít Freud (1856–1939) osztrák neurológus és pszichiáter jéghegy metaforája [5], amit később McClelland (1917–1998) amerikai pszichológus [6] is alkalmazott. A jéghegy-elmélet és -modell segítségével megmutatható, hogy mi az, amit látunk és mi az, ami rejtve van (2. ábra), tulajdon-



1. ábra. Probléma és megoldásának értelmezése Bartee-féle szemlélettel [4]



2. ábra. Jéghegy-modell értelmezése

képpen 1/7 rész látszik ki a vízből, a többi rész a felszín alatt rejtve húzódik meg.

Nem csak abban segít, hogy a felszín alatt meghúzódó valódi problémaforrásra irányítja a figyelmet, hanem egy problémamegoldási folyamatot is körvonalaz a szintekhez illeszkedően. A láthatatlan rész határozza meg az egyén motivációját, érdeklődését, céljait és preferenciáit és ezek az értékek irányítják a látható viselkedést. A jéghegy-modell tartalommal való felruházása felelős gondolkodást sejtet abban az értelemben, hogy nem csupán a látható/észlelhető tényezőket vesszük figyelembe a döntéseknél, a kérdések megválaszolásánál, hanem a rejtett tényezők hatását is.

Bransford–Stein IDEAL modelljének [7] alkalmazásával pedig kialakítható egy hatékony problémamegoldó folyamat. A modellhez tartozó egyes lépések a következők:

- I (Identify) – problémák és lehetőségek azonosítása
- D (Define) – célok meghatározása
- E (Explore) – lehetséges problémamegoldási stratégiák feltérképezése
- A (Anticipate) – cselekvések/intézkedések előre vetítése a várható kimenetek alapján
- L (Look back) – visszatekintés és a tanulságok levonása

Sok energia vs. energiasokk

Az energetikában nehéz priorizálni az esetleges problémákat, mert azok többnyire párhuzamosan zajló eseményekhez rendelhetők, ráadásul pedig a realitás, korlátok, koncentráció hármában a szubjektív torzítás is felerősödhet. A Módszerek fejezetben ismertetett modellek és megközelítések alkalmazásával a problémák típusának, megoldási módjának, megoldási folyamatának ismeretében nem csupán arra van lehetőség, hogy rávilágítsunk a trendekre, hanem arra is, hogy nyomon követhető legyen és megfogalmazható legyen, konkrétan mire van szükség.

Itt megjegyzendő, hogy az energiafogyasztás csökkentése alapértelmezetten összetett feladatként definiált, de az eddigiekben leírtak alapján inkább probléma, hiszen előfordul, hogy nincs teljes ismeret a jelen helyzetről, a megvalósítandó célállapotról, a megvalósításhoz szükséges módszerekről, vagyis:

- a háztartások energiafelhasználási szokásairól és/vagy
- az egyének viselkedési mintázatairól és/vagy
- a technológiai újítások jövőbeni hatásairól és/vagy
- a rejtett energiafogyasztásról (pl. életciklushoz kapcsolódóan nehezen mérhető, kevésbé dokumentált)
- az energiahatékony technológiák tényleges kihasználtságáról és/vagy
- a „nem engedélyezett” termelésről és/vagy
- az infrastruktúra állapotáról és/vagy
- a nemzetközi trendekről, körülményekről sem, stb.

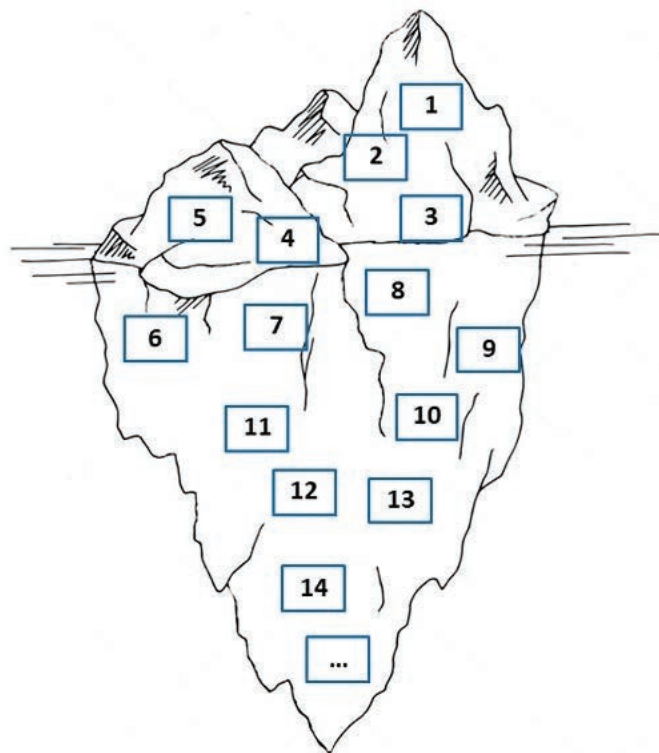
A problémamegoldás menete, lépései:

- probléma felismerése, típusának meghatározása (zárt, nyílt)
- megoldás módjának kialakítása (egyéni, csoportos, szervezeti, társadalmi)
- megoldás folyamatának meghatározása (egzakt, kreativitást igénylő)

Az energiafelhasználás általános problémáit szemléltető jéghegy (3. ábra) vízszint feletti része a látható cselekvések, a közvetlenül a vízszint alatti rész a feltárandó érdekeket, szükségleteket, míg a vízszint alatti mélyebb rész a rögzült értékrendszert, a látens, burkolt elvárásokat, rejtett szándékokat, a múltbeli megoldatlan problémákat szimbolizálja. Megjelennek a motivációk, amelyek hatással vannak az energiafelhasználási struktúrára, pl. a szokások által vezérelt magatartás, kényelem iránti vágy, energiaracionalizált viselkedés vagy annak hiánya, közösségi elvárások, értékek és prioritások, viselkedés, életvitel, stb. formájában.

Az energiapolitika általános elvei [8] mentén a fogyasztás és a termelés fenntarthatóságára, a nem energetikai kritikus fontosságú nyersanyagokhoz való hozzáférésre, valamint a kulcsfontosságú alaptermotechnológiák alkalmazására kell fókuszálni, kiegészítve a „titkos diktátorok” (rejtett módon gyakorol befolyást vagy irányítást, dominálja a döntéshozatalt) szerepének elemzésével.

„Titkos diktátorként” működhet egy-egy rejtett változó vagy paraméter, vagy egy látszólag nem aktív tényező, rejtett mechaniz-



3. ábra. Energiafelhasználás jéghegy-modellje

Jelmagyarázat: 1 – energiahatékony eszközök/berendezések előnyben részesítése vagy azok hiánya; 2 – energiaracionalizált viselkedés; 3 – részvétel/nem részvétel az energetikai programokban; 4 – nem akaratlagos nem „energetikus” cselekvés; 5 – többletenergia felhasználás; 6 – energiaköltségek csökkentése; 7 – környezet iránti elkötelezettség; 8 – ismeret hiánya; 9 – jövedelmi akadályok; 10 – jövedelmi többletlehetőségek; 11 – akaratlagos „nem energetikus” cselekvés; 12 – csoportdinamika; 13 – háttérben dolgozó tanácsadó; 14 – egyszerű meghatározó esemény; ...

mus, vagy éppen egy súlyozási tényező. Vagyis preferenciái határozzák meg a végeredményt. Egy ilyen „titkos diktátor” hatással van az energetikai rendszer működésére, anélkül, hogy a felszínen látható, észlelhető lenne. A műszaki mérnöki gyakorlatban párhuzamként említhető például egy gépezetben egyetlen csavar, ami bár jelentéktelennek tűnik, mégis kulcsfontosságú szerepe lehet a gépezet egészének működésében.

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kara Energiaellátás és fenntartható fejlődés kurzusának mesterszakos hallgatói a „Vajon miért ennyire kitett az emberiség az energiafelhasználásnak?” és a „Társadalmi problémával állunk szemben vagy tulajdonképpen lehetőségünk van egy élhetően környezetkímélő és hatékony életér kialakítására?” kérdések megválaszolásához a földgázfelhasználás vs. villamosenergiafelhasználás témakörében az alábbi tényezőket azonosították a jéghegy-szemlélettel:

- látható, érzékelhető tényezők, problémák – földgázfelhasználás csökkenése, villamosenergia előtérbe helyezése, technikai és technológiai fejlődés, innovációk (energiatárolási lehetőségek fejlődése), energiafüggetlenségi törekvések, stb.
- nem látható, rejtett, felszínközeli tényezők, problémák – környezeti problémák (metánszivárgások kitermeléskor és szál-

lításakor, tüzeléstechnikai okok), árszabályozás, fogyasztói szokások változása (előtérbe került okos otthonok), energia-politikai szabályozási mechanizmus, ingadozó feszültség-szint, stb.

- nem látható, rejtett, mélységi tényezők, problémák – import-függés, árstabilitási problémák, földgáztermelési költségek, CO-mérgezéstől való félelem, villamosenergia rendszer túlterhelése esetén termeléskorlátozás, kiegyenlítőenergia szabályozási költsége, jogcím nélküli villamosenergia vételezés, stb.

A feltárt rejtett tényezők és problémák nem okokként értelmezhetők, hanem hajtóerőkként. A megfigyelések felhasználásával pedig kialakíthatók átfogó, több szektort érintő együttműködési modellek [9], példának okáért:

- PED (Positive Energy Districts) – Pozitív Energia Körzetek
- PEN (Positive Energy Neighbourhoods) – Pozitív Energia Községek
- (N)ZED ((Netto) Zero Emission Districts) – (Nettó) Nulla Kibocsátású Körzetek
- (N)ZEN ((Netto) Zero Emission Neighbourhoods) – (Nettó) Nulla Kibocsátású Községek

Eredmények értékelése

A kérdések (Vajon miért ennyire kitett az emberiség az energia-felhasználásnak? Társadalmi problémával állunk szemben vagy tulajdonképpen lehetőségünk van egy élhetően környezetkímélő és hatékony létező kialakítására?) adekvát megválaszolásához a látható/észlelhető tényezők mellett össze kellett gyűjteni a rejtett (felszínközeli és mélységi) tényezőket is. A rejtett tényezők azonosítása azért is fontos, mert így szükség esetén az igényekkel/szükségletekkel kongruens (megegyező, összhangban lévő, vagy éppen harmonikus) megoldás adható. Itt megjegyzendő, hogy a feltárt és azonosított tényezők ismeretében cselekedettel és mulasztással egyaránt lehet válaszolni a kérdésekre, de mindig elegendő időt kell hagyni a megoldás kibontakozására.

Tényként, de problémaként jelenik meg, hogy

- a jogszabályok és szabályozások nem tartanak lépést a technológiai fejlődéssel, ami késlelteti a szükséges fejlesztéseket, illetve a piaci adaptációt
- az időjárásfüggő termelők (megújulók) növekedése miatt a villamosenergia-termelés és fogyasztás egyensúlyának fenntartása egyre költségesebb és nehezebb
- a megújuló környezeti hatása a kapcsolódó technológiákkal együtt (lenne) értelmezhető
- az akkumulátor-technológiák és az egyéb energiatárolási megoldások fejlesztése lassabb, mint az időjárásfüggő megújuló energiaforrások növekedése, rendszerkockázatot eredményezve
- a digitalizáció előre haladtával a villamosenergia-rendszerek egyre inkább ki vannak téve kiberbiztonsági támadásoknak

„Titkos diktátorként” működnek, vagyis rejtett, de döntő szerepet töltenek be pl. egyes mérési, számlázási vagy árazási mechanizmusok, az időjárás minták figyelembevételi mechanizmusa, stb. Ezek a mechanizmusok – bár elsőre átláthatónak tűnhetnek – gyakran úgy vannak kialakítva, hogy a fogyasztó tényleges szokásai vagy valós fogyasztása helyett az előre meghatározott paraméterek

befolyásolják a kiszámlázott összeget. Tehát az árképzési elvek – például a fogyasztási sémák, időszakok szerinti árváltozások vagy akár a különféle díjszabási normák, szabályok hitelesnek és objektívnek tűnnek, valójában azonban jelentős mértékben (előre) meghatározzák az energiaköltséget.

Az aktuális kérdések megválaszolása során rész megoldás lehet a pazarló társadalmi réteg esetén a felfogás megváltoztatása elgondolkodtatással, vagy az energiatárolás visszapattanó hatás-ként való elemzése. Az eredményesség mindig a mértékben rejlik. A rejtett mintázat egyfajta energiaimpulzust, energiaritmust is ad, ezért el kell kerülni a következetlenséget és/vagy felületességet és/ vagy zavaros fogalmazást az energetika minden szintjén és minden szegmensében. Mint ahogyan az emberek életében egy normatív krízis átmenetileg lehet nyűg, de valójában reménysugár, úgy az energetikában is hozzájárul a fejlődéshez az új erőforrások bevonása által.

Összefoglalás, kitekintés

„Bár a lényeg nem érthető, Amíg nem éltem nehéz éveket.” (Ismerős Arcok, 2007) egyik dalának szövegrészlete is sugallja, hogy egy adott energetikai kérdés megválaszolása kapcsán vagy egy energetikai probléma megoldása során, ha nem csupán a látható tényezőket értjük meg, hanem azokat a mélyebb tényezőket is, amelyek befolyásolják a láthatókat, akkor az okoknak tűnő hajtóerők szabályozásával hatékonyabb megoldáshoz juthatunk. A rejtett tényezők által feltárható új információk, tapasztalatok ösztönző ereje ugyanis új gondolkodásmódot eredményez, az új gondolkodásmód szervező ereje pedig új célok (konkrétumok) felé mozdít el.

Az energiaszektorban sokszor előfordul, hogy a fogyasztók számára átláthatóvá váló tényezők mögött valójában rejtett, eleve meghatározó mechanizmusok húzódnak meg. A komplex rendszer működéséből adódóan pedig olyan kompromisszumok jönnek létre, amelyek kevés választási lehetőséget hagynak a fogyasztók számára. Konszenzus helyett tehát mindig szükség van különféle kompromisszumokra, vagyis „lehetetlen?” teljesen tökéletes rendszert kialakítani.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.iea.org/analysis?type=report> (letöltés: 2025.01.29.)
- [2] https://www.ksh.hu/stadat_files/ene/hu/ene0006.html (6.1.1.6. Végső energiafelhasználás) (letöltés: 2025.02.01.)
- [3] Buda B. et al. (szerk.) (1982): A rendszerszemlélet mint társadalmi igény (Rendszerkutatói tanulmányok 2.) Akadémiai Kiadó, Budapest, 277p.
- [4] Bartee, E. M. (1973): A holistic view of problem solving. Management Science, Vol. 20. No. 4. p. 439–448
- [5] Freud, S. (1915): The unconscious. Standard Edition of the Complete Psychological Hogarth Works, London, 14:159–215
- [6] McClelland, D. C. (1973): Testing for competence rather than for intelligence. American Psychology, 28(1), p. 1–14
- [7] Bransford, J. D. – Stein, B. S. (1984): The IDEAL Problem Solver: A Guide for Improving Thinking, Learning, and Creativity. W. H. Freeman, New York, 150 p.
- [8] www.europarl.europa.eu/factsheets/hu/sheet/68/energiapolitika-altalanos-elvek (letöltés: 2025.03.13.)
- [9] <https://jpi-urbaneurope.eu/> (Urban Europe 2018) (letöltés: 2025.02.01.)

Alternatív hidrogénelőállításai eljárások értékelése

Cséfalvy Edit

okl. környezetmérnök, csefalvy.edit@gpk.bme.hu

Laza Tamás

okl. gépészmérnök

A hidrogén kulcsszerepet játszhat a jövő fenntartható energia-gazdálkodásában, mivel tiszta energiahordozóként vagy akár nyersanyagként alkalmazható számos iparágban. A cikk áttekinti a hidrogénelőállítás jelenlegi és feltörekvő technológiáit, beleértve a fosszilis energiahordozókon alapuló (szürke és kék hidrogén), valamint a megújuló energiaforrásokat hasznosító (zöld hidrogén) eljárásokat. Részletesen tárgyaljuk az egyes módszerek energetikai, környezeti és gazdasági vonatkozásait, valamint azok lehetséges szerepét a dekarbonizációs célok elérésében.

*

Hydrogen can play a key role in the future of sustainable energy management, as it can be used as a clean energy carrier in various industries. This article reviews the current and emerging hydrogen production technologies, including those based on fossil fuels (producing grey and blue hydrogen) as well as processes utilizing renewable energy sources (green hydrogen). It discusses in detail the energy, environmental, and economic aspects of each method, as well as their potential role in achieving decarbonization goals.

Bevezetés

A hidrogén szerepe a jövő energiarendszereiben

A globális energiagazdaság átalakulásának egyik kulcskérdése, hogyan tudjuk csökkenteni a fosszilis tüzelőanyagoktól való függőséget, miközben kielégítjük a folyamatosan növekvő energiaigényeket [1].

Ebben a folyamatban a hidrogén fontos szereplőként jelenik meg, mert égése során kizárólag vízgőz keletkezik, (amely rövid légköri tartózkodású természetes üvegházhatású gáz), így lokálisan zéró emissziós megoldást kínál, ami különösen értékes a szénintenzív ágazatok dekarbonizációja szempontjából [1], szemben a fosszilis tüzelőanyagokkal, amelyek növelik a légköri CO₂ koncentrációját [2].

A hidrogén emellett széles körben alkalmazható az ipartól kezdve a közlekedésen át az energiatárolásig. Jól integrálható a megújuló energiaforrásokkal működő rendszerekbe, például úgy, hogy a nap- vagy szélenergia feleslegével elektrolízis útján állítsanak elő hidrogént, amely később felhasználható, amikor a termelés nem elégséges [2].

Jelenleg még több technológiai és gazdasági kihívás nehezíti a hidrogén széles körű elterjedését, elsősorban a tárolás, szállítás és előállítás költségei, de a nemzetközi kutatások és ipari fejlesztések üteme azt mutatja, hogy a hidrogén hosszú távon elengedhetetlen szereplője lesz a fenntartható energiagazdálkodásnak [1].

A hidrogén típusai

Bár maga a hidrogén molekula színtelen és szagtalan, előállítási módjai alapján színek szerint osztályozzák [6]. A hidrogén a

Naprendszer leggyakoribb eleme, a Földön csak kötött formában található meg. Például a vízben, ammóniában vagy a szénhidrogénekben. Előállítása különféle kémiai eljárásokkal történhet, mint vízbontással (elektrolízissel), termokémiai vagy biokémiai átalakítással.

A hidrogén színeinek ismerete az energiagazdaság szempontjából azért fontos, mert a különböző előállítási módok eltérő mértékben terhelik a környezetet [6]. A jelenlegi globális hidrogéntermelés túlnyomórésze fosszilis energiahordozókból, gőzreformálással történik, amit szürke hidrogénként említünk. A szürke hidrogén jelentős mennyiségű CO₂-t bocsát ki. Ezzel szemben a zöld hidrogént megújuló energia (pl. nap- vagy szélenergia) felhasználásával állítják elő víz elektrolízisével, miközben a folyamat nem jár közvetlen CO₂ kibocsátással [2], [6]. Ez az előállítás viszont jelenleg jóval drágább és körülményesebb, mint a hagyományos szürke előállítási módszerek [6].

A kék hidrogén egyfajta köztes megoldást kínál. Ugyanúgy fosszilis energiahordozóból származik, mint a szürke, de a keletkező CO₂-t szénmegkötési és -tárolási technológiával (CCS) vizsztatartják [2]. Más alternatívák is megjelentek, mint például türkiz hidrogén, ahol a metánból nem CO₂, hanem szilárd szén keletkezik melléktermékként, vagy a rózsaszín és piros hidrogén, amelyeket nukleáris energiával állítanak elő [6].

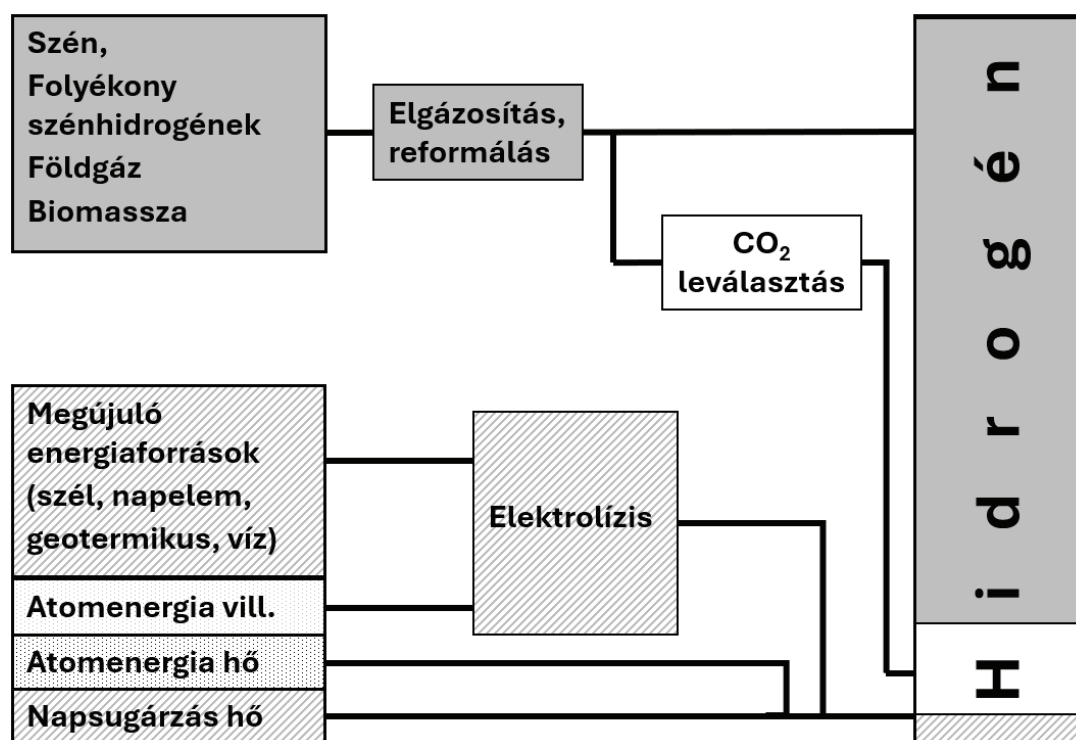
Vannak kísérleti stádiumban lévő eljárások is, például a narancs hidrogén, amely műanyag hulladékból származik, vagy a természetben képződő fehér hidrogén, amely a mélyföldi geológiai folyamatok eredménye [7], [8]. Ez utóbbi még nem elérhető ipari szinten.

A „tiszta hidrogén” fogalom több eljárást is magába foglal, ideértve a megújuló és az alacsony CO₂ kibocsátású (pl. kék) megoldásokat. Ugyan a hidrogén égetése lokálisan nem bocsát ki CO₂-t, fontos megérteni, hogy a kibocsátás elkerülése nem magából az anyagból, hanem az előállítás módjából következik. A fenntartható energiarendszerek szempontjából tehát nem mindegy, milyen „szí-nű” hidrogén kerül alkalmazásra [6].

A hidrogéntermelési eljárások megoszlása

A tiszta, alacsony kibocsátású technológiák, mint a kék és a zöld hidrogén előállítása fokozatosan növekszik, még mindig csak kis hányadát teszik ki a teljes termelésnek. Az International Energy Agency adatai [9] alapján a 2014-2024 időszak hidrogéntermelésének megoszlása:

- **Szürke hidrogén:** A globális hidrogéntermelés több, mint 90%-át teszi ki. Főként metánból történő gőzreformálással (Steam Methane Reforming – SMR) vagy termikus bontással állítják elő, jelentős CO₂ kibocsátás mellett.
- **Kék hidrogén:** A teljes termelés körülbelül 4,7%-át képviseli. Ez a szürke hidrogénhez hasonlóan fosszilis alapú, de a keletkező CO₂-t leválasztással és tárolással kezelik, csökkentve a kibocsátást.
- **Zöld hidrogén:** A globális termelés kevesebb, mint 1%-át teszi ki. Megújuló energiaforrásokból származó villamos energiával végzett elektrolízissel állítják elő.



1. ábra. A hidrogén előállítás ipari méretben jelenleg használt módszerei (szürke háttérrel a szürke, fehér háttérrel a kék és csíkozott háttérrel a zöld hidrogén látható).

- **Türkiz hidrogén:** Jelenleg kísérleti fázisban van, és a globális termelés elenyésző részét teszi ki. Elsősorban metán pirolízisével állítják elő, amely során a szén szilárd formában marad vissza, így potenciálisan alacsonyabb CO₂ kibocsátással jár.

Hidrogénelőállítási módok

Termokémiai eljárások

Szürke hidrogén előállítás

Ezeknél az eljárásoknál kulcsfontosságú szerepet tölt be a szintézisgáz fogalma, amely általánosságban egy olyan gázkeveréket jelent, amely tartalmazhatja az adott szintézishez szükséges összes, vagy néhány lényeges reakciókomponenst, valamint a végterméket is. A vizsgált eljárások szintézisgáza szén-monoxidból és hidrogénből áll, illetve ezek egymáshoz viszonyított aránya is meghatározó tényező [10].

Az első vizsgált eljárás a szénelgázosítás. Ez a folyamat heterogén fázisú reakciókon alapul, amelyek során a szén részleges oxidációja, valamint a víz redukciója megy végbe. A hidrogén előállítása izzó kőszénkoksra történő vízgőz- és levegőbefúvatással történik. A folyamat során a szén oxigénnel részlegesen oxidálódik, hőt termelve és szén-monoxidot hozva létre. Ezután vízgőzzel reagál, amiből szén-monoxid és hidrogén keletkezik. A keletkezett CO₂ további szénnel reagálva ismét szén-monoxidot ad (Boudouard-reakció). A szén-monoxid vízgőzzel is tovább reagálhat, ekkor CO₂ és hidrogén képződik. Ha elegendő hidrogén van jelen, a szén vagy a szén-monoxid metánná alakulhat [11].

Energiahatékonyság szempontjából a szénelgázosítás közepes hatásfokú eljárásnak tekinthető. A teljes rendszer energiahatékonysága jellemzően 35–45% között alakul, figyelembe véve a reakciók endoterm jellegét és a szükséges hőbevitel mértékét. A

hőhasznosítási rendszerek beépítése javíthatja az összhatóást, azonban a szilárd tüzelőanyag kezelése és az elgázosító berendezések komplexitása kedvezőtlenül hat a teljesítményre.

Környezeti szempontból a szénelgázosítás jelentős CO₂-kibocsátással jár, különösen, ha a keletkező szén-monoxid és CO₂ nem kerül hasznosításra. Emellett a kén- és nitrogéntartalmú szennyezők – például SO₂, NO_x, és nehézfémek – eltávolítása szükséges a kibocsátási határértékek teljesítéséhez, ami további energetikai és technológiai ráfordítást igényel [10].

Másik eljárás a szürke hidrogén előállítása folyékony szénhidrogénből vagyis kőolajból. Ebben az eljárásban a szénelgázosításhoz hasonlóan endoterm és exoterm reakciók zajlanak le, parciális oxidáció során, levegő és vízgőz mellett.

Ennek az eljárásnak az energiahatékonysága némileg kedvezőbb lehet, ha könnyebb frakciókat használnak (pl. nafta), de a rendszer hatásfoka jellemzően nem haladja meg az 50%-ot. A keletkező melléktermékek (pl. CO₂, nehéz szénhidrogének) kezelése további energiaigénnyel jár.

Környezeti hatásai közé tartozik a jelentős CO₂-emisszió, valamint az eljárás során képződő aromás szénhidrogének, kátrányfrakciók és kénes vegyületek, amelyek komoly szennyezési kockázatot jelentenek. A levegőbe jutó égéstermékek kén-tartalma (annak leválasztása) és a szilárd maradványok veszélyes hulladékként való kezelése további terhet ró a rendszerre.

A hidrogén ipari előállításának legelterjedtebb módszere napjainkban a földgáz metántartalmának reformálása, amely vízgőzzel (SMR), CO₂-dal (DMR) vagy levegővel (parciális oxidáció) történhet [10]. Nulladik lépésként a földgázt a maradék kén-tartalomtól is meg kell tisztítani, mert a kén katalizátorméregként viselkedik.

Az SMR során ahol a metán vízgőzzel magas hőmérsékleten (700–1000 °C), katalizátor jelenlétében reagál (alumínium hordozóra felvitt Ni katalizátor, hatékonysága Na₂O és K₂O-dal növel-

hető). A folyamat során szintézisgáz – szén-monoxid és hidrogén – keletkezik. Ezt követően a szén-monoxid további vízgőzzel reagálva (Cr_2O_3 katalizátor jelenlétében) CO_2 -dá és további hidrogénné alakul. A gázt végül tisztítani kell. Erre az általánosan alkalmazott eljárás a Pressure Swing Adsorption, vagyis a nyomásváltó adszorpció, mely során 99,999% tisztaságú H_2 nyerhető. A DMR esetében a metánt először CO_2 -dal reagáltatják, ami szén-monoxidban gazdag szintézisgázt eredményez, majd itt is alkalmazzák a vízgőz-átalakítást a hidrogénhozam növelése érdekében. Ez az eljárás ritkább, és főleg olyan rendszerekben alkalmazzák, ahol eleve sok a CO_2 .

A metán parciális oxidációja során a metánt oxigénnel léghianyban égetik el, így szintézisgáz keletkezik hőtermeléssel, majd a szén-monoxidot itt is vízgőzzel alakítják át további hidrogénné. Mindhárom eljárás magas hőmérsékleten zajlik, és a koromképződés csökkentésére vízgőz vagy CO_2 felesleget juttatnak a rendszerbe.

Az SMR technológia energiahatékonysága a legjobb a szürke hidrogén előállítási módszerek között, ipari méretben 65–75% között alakulhat, főképp, ha a reakcióból felszabaduló hő megfelelően visszaforgatásra kerül a rendszerbe (pl. hőcserélőkön keresztül). Ugyanakkor jelentős CO_2 -kibocsátással jár, ami az energiahatékonyság mellett komoly környezeti kompromisszumot jelent. A DMR és a parciális oxidációs módszerek jellemzően alacsonyabb hatásfokúak, kb. 50–60%-os szinten mozognak, viszont ezeknél kedvezőbb a CO_2 hasznosításának lehetősége.

Környezeti hatás szempontjából a földgázreformálás a legnagyobb volumenű fosszilis-alapú hidrogéntermelő technológia, és ezzel együtt az egyik legnagyobb hidrogénhez kapcsolódó CO_2 -kibocsátó is. Egy tonna hidrogén előállítása során 8–12 tonna CO_2 keletkezik, amelyet általában kibocsátanak a légkörbe. A nagyléptékű, pl. olajfinomítóknál végzett, SMR alapú hidrogén-előállítás nagy CO_2 kibocsátással jár, így ez a technológia az EU emisszió-kereskedelmi irányelvének (EU ETS; 2003/87/EC Irányelv) hatálya alá tartozik. Van lehetőség a CO_2 leválasztására (CCS), ennek integrálása jelentős többletköltséggel és energiafelhasználással jár [10]. Amennyiben a CO_2 leválasztás megvalósul, az eljárás kék hidrogént eredményez.

Biomassza alapú termokémiai eljárás

A biomassza termokémiai úton történő hidrogénelőállítása egyszerre kínál megújuló alapanyagot (a biomassza) és alacsonyabb szénlábnymot a fosszilis technológiákhoz képest [2]. A folyamat lényege, hogy különféle szerves eredetű anyagokat, például növényi hulladékot, faaprítékot vagy mezőgazdasági mellékterméket magas hőmérsékleten, oxigénmentes, vagy oxigénhiányos környezetben elgázosítanak, aminek eredményeként hidrogénben gazdag gáz-elegy keletkezik [2], [12].

A leggyakoribb eljárások a pirolízis és az elgázosítás. A biomassza pirolízise során magas hőmérsékleten, oxigén jelenléte nélkül történik az anyag lebontása, míg a gázosítás során részleges oxidációval szintézisgáz keletkezik, amely hidrogént is tartalmaz [2]. Az így előállított „szintézisgáz” (CO , H_2 , CH_4 , CO_2) hidrogéntartalma további eljárásokkal (például vízgőzös átgázosítással vagy katalitikus tisztítással) növelhető. Nikkel-alapú katalizátorok alkalmazásával jelentősen növelhető a hidrogénkihozatal és csökkenthető a káros melléktermékek képződése [2], [12].

A módszer előnye, hogy helyben keletkező biomassza hulladékot is hasznosítani lehet, ezáltal csökkentve a szállítás és tárolás okozta károsanyag kibocsátást. Fontos megjegyezni, hogy pozití-

vumai mellett kihívásai is vannak, hiszen jelenleg még nehézséget jelent a kátránymentesítés, a gázkeverék tisztítása, valamint a magas beruházási költségek [12]. Ennek ellenére, a biomassza alapú termokémiai hidrogéntermelés nagy potenciállal bír az olyan helyeken, ahol bőséges szerves hulladék áll rendelkezésre.

Környezeti szempontból előnye, hogy karbonsemlegesnek tekinthető, mivel a biomassza növekedése során elnyelt CO_2 mennyiség szinte megegyezik az eljárás során kibocsátott mennyiséggel. Szintén pozitívuma, hogy megújuló alapanyagokra épül, és segíthet a mezőgazdasági hulladékok hasznosításában. Ugyanakkor a folyamat során keletkezhetnek káros melléktermékek (szén-monoxid, szilárd pernye, kátrány) amelyek kezelése elengedhetetlen a környezetvédelmi előírások betartásához. Ha a biomassza fenntarthatóságát vizsgáljuk, kritikus kérdés annak anyagának fenntartható forrásból történő beszerzése.

Energiahatékonysági szempontból a biomassza alapú termokémiai eljárás közepes hatékonyságúnak tekinthető [2].

Szuperkritikus elgázosítás (SCWG)

A szuperkritikus elgázosítás olyan termokémiai eljárás, amelyet elsősorban nagy víztartalmú szerves hulladékok (pl. szennyvíziszap) hidrogénné történő átalakítására alkalmaznak. A folyamat lényege, hogy a vizet szuperkritikus állapotba hozzák (374 °C feletti hőmérsékleten és 221 bar feletti nyomáson) tartják. Az eljárást ennél magasabb nyomás-hőmérséklet páron, 700 °C és 300 bar mellett, a víz nagyfeleslegével célszerű végrehajtani. A lebomlás során keletkező gázfázis jelentős mennyiségű hidrogént tartalmaz, az energiaátalakítási hatásfok elérheti az 55%-ot [13], [25].

A működtetéshez szükséges nyomás- és hőmérsékletfeltételek megteremtése energiaigényes, ami gazdasági szempontból korlátozza az önálló alkalmazását. A hidrogén ilyen módszerrel végzett előállításának fajlagos költsége ezért több, mint a vízgőzös metán-reformálási módszer esetén. A gazdaságosságot javítja a keletkező hasznos melléktermékek értékesítése, illetve, ha a rendszer hőellátását hulladékhővel egészítik ki, az eljárás kedvezőbbé válik mind gazdasági, mind ökológiai értelemben [14].

A technológia abban az esetben mutat valódi potenciált, ha egyébként problémás hulladékokat képes átalakítani hasznos energiahordozóvá, miközben a kapcsolt rendszerek révén képes integrálódni egy ipari környezetbe. Mindezek miatt inkább ipari környezetbe illeszthető, integrált megoldásként képzelhető el, mintsem önálló technológiaként [14]. Bár a szuperkritikus elgázosítás nem sorolható a szűk értelemben vett biológiai hidrogéntermelési módszerek közé, a hidrogén gazdaságos előállítása szempontjából mégis egy releváns és előremutató technológiai irányt képvisel, amennyiben hosszú távon egy fenntartható, hulladék-alapú energiaigazdálkodásba illesztjük [13].

Energiahatékonyság szempontjából a szuperkritikus elgázosítás közepes hatásfokú technológiának tekinthető. A laboratóriumi és pilot méretű rendszerek esetén az energiaátalakítási hatásfok jellemzően 45–55% között alakul. Az elérhető hatásfok jelentős mértékben függ a bemenő hulladék összetételétől, a reakcióhőmérséklettől, valamint attól, hogy a reaktor fűtése mennyiben támaszkodik külső (fosszilis) energiaforrásokra, illetve mennyiben használ hulladékhőt. Amennyiben az energiaigényt részben ipari mellékéből fedezi, a fajlagos primerenergia-felhasználás csökkenthető, így a folyamat energetikailag is kedvezőbbé válik [14].

Környezeti szempontból a szuperkritikus elgázosítás több előnyt kínál a hagyományos fosszilis alapú eljárásokkal szemben. Mivel a

technológia oxigénmentes közegben zajlik, az égéstermékek – például NO_x , SO_2 – nem, vagy csak elhanyagolható mennyiségben keletkeznek. A CO_2 -kibocsátás szintén alacsonyabb lehet, mivel a nagy nyomás miatt oldatban marad a CO_2 . További környezeti előnyt jelent, hogy az eljárás során a veszélyesnek minősülő szennyvíziszap vagy kommunális szerves hulladék ártalmatlanítása is megtörténik, minimális maradékanyag-képződés mellett. A szilárd termékfrakció inert, lerakható vagy részben újrahasznosítható, így a technológia jól illeszthető a körforgásos gazdaság célkitűzéseire [14].

Elektrolízis

A vízbontás, azaz a víz elektrolízise során elektromos energia segítségével vízmolekulákat oxigénre és hidrogénre bontanak. Több különböző elektrolízis alapú technológia létezik a használt elektrolit anyag, működési hőmérséklet, membrán típus vagy cellastruktúra alapján. A leggyakrabban használt elektrolízis fajták a lúgos, a protoncserélő membrános (rövidebben PEM, vagy membrános), és a magas hőmérsékletű elektrolízis [15].

Környezeti szempontból az elektrolízis, amennyiben tiszta és karbonmentes villamos energiát használ fel, az egyik leginkább környezetbarát hidrogénelőállítási módszer, mivel nincs közvetlen CO_2 kibocsátás, nem keletkeznek káros melléktermékek, és zöld hidrogén előállítását képvisel. Ezzel szembeállítva viszont fontos szempont a vízfelhasználási tényező és az elektrolizáló berendezés gyártása, ami megterhelheti a környezetet.

Energiahatékonyság szempontjából az elektrolízis alacsonyabb hatásfokú eljárásnak számít, illetve energiaigénye is jelentős. Általánosan az elektrolizáló rendszerhatásfoka 62-82% közé esik eljárástól és berendezéstől függően [2].

Lúgos elektrolízis

A legrégebb óta létező és legismertebb vízbontási eljárás a lúgos elektrolízis. A használt elektrolit ebben az esetben vizes kálium-hidroxid (KOH), vagy nátrium-hidroxid (NaOH) oldat, és az OH^- ionok szállítják a töltést [15]. A negatív elektródán (katód) hidrogéngáz, a pozitív elektródánál (anód) oxigéngáz keletkezik. Annak érdekében, hogy a két keletkező gáz ne keveredhessen, a két reakcióteret egy gáztömör, ion-áteresztő membrán választja el egymástól. A vízbontáshoz egyenáram szükséges [15].

Membrános elektrolízis (PEM)

A protoncserélő membrános elektrolízis szilárd polimer elektrolitot alkalmaz, ezért a PEM rövidítés egyúttal a proton exchange membrane és a polymer exchange membrane kifejezést is jelenti. A protonok a membránon keresztül vándorolnak az anódtól a katód felé, míg az elektronok külső áramkörön keresztül haladnak. A cellaszervezet szoros elrendezése magas áramsűrűséget eredményez, viszont ez az eljárás magasabb költségekkel jár a nemesfémalapú elektródák és az ultratiszta víz iránti igény miatt [16].

Magashőmérsékletű elektrolízis

Magashőmérsékletű elektrolízis (Solid Oxid Electrolyser, SOEC) az ipari hulladékhő hasznosításával előállított vízgőzbontáson alapul. Üzemanyagcellaként is alkalmazható, tehát elektromos áram előállítására és felhasználására is alkalmas. Félüzemi kísérleti fázisban van.

A magashőmérsékletű elektrolízis olyan vízbontási technológia, amely szilárd oxid elektrolitokat tartalmaz és jellemzően 700-1000 °C hőmérsékleten működik. Az ilyen magas hőmérséklet lehetővé teszi,

hogy a víz részben hőenergiával, nem kizárólag elektromos áram segítségével váljon szét, így javítva az eljárás energiahatékonyságát.

Az elektrolit többnyire ZrO_2 alapú anyag. A rendszer általában gőzfázisú vizet használ. Bár a technológia még fejlesztés alatt áll, hosszú távon ígéretes lehet az ipari méretű, alacsony CO_2 -kibocsátású hidrogéntermelés szempontjából, különösen, ha a hőforrás megújuló vagy nukleáris eredetű [17].

Biológiai hidrogénelőállítás

A biológiai hidrogéntermelés egy olyan alternatív megközelítés, amely megújuló nyersanyagokra és mikroorganizmusokra támaszkodva képes hidrogént előállítani atmoszférikus nyomáson [2]. A mikroorganizmusok a vízmolekulákat és a szerves szubsztrátokat hidrogénné alakítják, két kulcsfontosságú enzim, a hidrogenáz és a nitrogenáz katalitikus aktivitása révén. Az előállítási módok alapján a néhány leggyakoribb: a biofotolízis, sötét fermentáció, fotofermentáció és a szén-monoxid fermentáció. Különösen előnyösnek tekinthető, mivel alacsony energiaigényű, hulladékalapú forrásokat is hasznosítani tud. A módszer két fő technológiai irányon alapszik: fotobiológiai és a fermentációs eljárásokon [18].

Környezeti szempontból a biológiai hidrogéntermelés alacsonyabb CO_2 kibocsátással jár, különösen, ha mezőgazdasági vagy élelmiszeripari hulladékot hasznosít. Az eljárás előnye, hogy a szennyvizek és szerves melléktermékek kezelésére is alkalmas lehet, így a környezeti terhelés csökkenhet.

Energiahatékonyság szempontból a biológiai hidrogéntermelés jellemzően alacsonyabb hatásfokú, mint a termokémiai vagy elektrolízises módszerek. A folyamatok lassú sebessége, a mikroorganizmusok energiaigénye és a hidrogéngáz alacsony koncentrációban való termelése miatt az ipari alkalmazás korlátozott, ugyanakkor a nyersanyagként felhasznált biomassa vagy szerves hulladék alacsony költségű és részben megújuló energiaforrást jelenthet [18].

Fotobiológiai módszerek

A biológiai úton történő hidrogéntermelés ígéretes lehetőségeket kínál, elsősorban annak környezetbarát jellege miatt. A folyamat során mikroalgák és cianobaktériumok napenergia felhasználásával állítanak elő hidrogént vízből vagy CO_2 -ből, anaerob körülmények között. Két nagy csoportját különböztetjük meg: direkt- és indirekt biofotolízis.

A direkt biofotolízis esetében a fotoautotróf organizmusok, anaerob körülmények között, napfény hatására bontják a vizet hidrogénre és oxigénre, majd a hidrogenáz enzim segítségével hidrogént állítanak elő:

Az indirekt hidrogéntermelés jellemzően egy kétlépcsős eljárás, ahol az első szakaszban a mikroorganizmusok (köztük különféle algák és cianobaktériumok) a CO_2 -ot a szubsztrát (keményítő/szénhidrát/cukor) és oxigén előállítására használják fel, míg a második szakaszban anaerob körülmények között megtörténik a hidrogéntermelés [19].

A különböző fotobiológiai módszerek jelenlegi főbb akadályai közé tartozik az alacsony hatékonyság, a sűrű sejt kultúrákban a fényáteresztés korlátozottsága és a sok mikroorganizmus eltérő optimális termelési sajátossága [19].

Fermentációs eljárások

A fermentációs úton történő hidrogéntermelés nagy lehetőséget rejt magában, mivel megújuló energiaforrásokból, például biomasszá-

1. táblázat. Alternatív hidrogén előállítási módok összefoglalása

Előállítás módja	A folyamat hajtóereje	Szennyvíz összetétel	Technológia szintje	Rövid leírás
Fordított elektrodialízis	Koncentráció gradiens	Sótartalmú víz	K+F	A cella két oldala között fellépő koncentráció-gradiensből fakadó energiátöbblettel hidrogént lehet előállítani.
		Savas/Lúgos víz		
Mikrobás elektrodialízis	Elektromos, biológiai	Szulfát-redukció	K+F	A folyamat során az elektrolízáló cellában elektromos potenciálkülönbség és mikrobák segítségével előállítható hidrogén.
Sötét fermentáció	Biokémiai	Keményítő tartalmú szennyvíz	Kísérleti fázis	A szerves szubsztrátokat a mikroorganizmusok energia- és elektronforrásként használják fel H ₂ előállítására a sötét erjesztés során.
		Aktív szennyvíz iszap		
		Szűrkevíz		
		Állattartás (sertés) szennyvíz		
		Laktát tartalmú szennyvíz		
Fotofermentáció	Biokémiai	Élelmiszer-feldolgozási hulladékok	Kísérleti fázis	A folyamat fotoszintetikus mikroorganizmusokat használ ahhoz, hogy a szénelapú szubsztrátokat hidrogénné alakítsa napenergia felhasználásával.
		Szeszfőzdei szennyvíz		
		„Szintetikus szennyvíz”		
		Kenyér maradék		
Fotokatalízis	Foton	Gyógyszeripari szennyvíz	Labor fázis	A fotokatalízis egy fényvezérelt folyamat, amelyben a kémiai reakciók katalizátor jelenlétében játszódnak le.
		Sörgyári ipari szennyvíz		
		Festékipari szennyvíz		
Fotoelektrokémia	Foton	Galvanizáló ipar	Labor fázis	A fotoelektrokémiai cellák a fény elnyelése során hidrogént és áramot termelnek.
		Olajos szenny-víz		
		Aromás szerves vegyületek		
Mikrobás elektrolízis	Elektromos, biológiai	Iszap	Kísérleti fázis	Hidrogén előállítása elektrogén mikro-organizmusok segítségével.
		Cukoripar		
		Szintetikus színezékek lebontása baktériumokkal		
		Kommunális szennyvíz		
Szuperkritikus elgázosítás	Hidrotermál	Fenol tartalmú szennyvíz	Labor fázis	A szennyvíz szuperkritikus állapotában (a vízre nézve), hidrogén termelhető a folyamattal.
		Ételmaradék		
		Szennyvíziszap		
		Olaj tartalmú szennyvíz		

ból vagy szerves hulladékból állítható elő [20]. Jelenleg még csak laboratóriumi és kísérleti szinten működik, de egyre több kutatás tér ki a technológia ipari alkalmazására.

A legnagyobb kihívás a technológiával kapcsolatban a viszonylag alacsony hidrogénhozam, és az, hogy melléktermékként illó zsírsavakban gazdag folyadék keletkezik, amit további kezelést igényel. Ugyanakkor a baktériumtörzsek és társfermentációs eljárások módszerével növelhető a hidrogénelőállítási hatékonyság [20].

A fermentációs eljárások egyik leginkább kutatott iránya a sötét fermentáció, ahol fény nélkül történik a hidrogéntermelés anaerob- vagy fél-anaerob mikroorganizmusok segítségével termofil (50-55 °C) erjesztéssel. Ebben a folyamatban különböző baktériumok bontják le a szerves anyagokat, például cukrokat, élelmiszer-hulladékot vagy szennyvíziszapot, miközben hidrogént termelnek [21]. A sötét fermentáció azért különösen fontos, mert lehetőséget ad a hulladék alapú, decentralizált hidrogéntermelésre, akár kisebb hozamú rendszerekben is. A hidrogéntermelés javítható, ha biofotolízist kapcsolunk a sötét fermentáció után. Az 1. táblázatban egy rövid összefoglaló látható az alternatív hidrogén előállítási módokról.

Települési szilárd hulladékból történő hidrogéntermelés

A fenntarthatóság szempontjából a hidrogénelőállítás egyik potenciális iránya az alternatív nyersanyagok felhasználása, ami lehetőséget kínál a fosszilis energiahordozóktól való részleges függetlenedésre, a hulladékok energetikai hasznosítására. Ilyen alternatíva a települési szilárd hulladék (TSZH) hasznosítása hidrogéntermelésre.

A TSZH összetétele változatos, de jellemzően a magas széntartalmú anyagok a legjellegzetesebbek, mint a papír, textil, műanyag. Ezek termokémiai úton, elsősorban elgázosítás módján feldolgozhatók. Az eljárás során hő hatására oxigénszegény (vagy oxigénmentes) környezetben az anyagok bomlanak, illetve reakcióba lépnek, amelynek eredményeként különböző mennyiségben keletkezik szintézisgáz. A keletkezett szintézisgáz hidrogéntartalma tovább növelhető, amennyiben a rendszerben vízgáz-reakció is végbemegy [22].

A hidrogén ilyen módon történő előállítása több szempontból is előnyös lehet. Egyrészt lehetőség a települési hulladékok energetikai hasznosítására, másrészt ezek az anyagok részben megújuló energiaforrásnak tekinthetők, mivel folyamatosan keletkeznek, így bizonyos szempontból kimeríthetetlen forrásnak minősülnek [22].

Energiahatékonyság szempontjából a TSZH elgázosítása során történő hidrogéntermelés mérsékelttel hatékonynak tekinthető. Az eljárás energiaátalakítási hatásfoka tipikusan 30–45% közé esik, azonban ez erősen függ a hulladék összetételétől, nedvességtartalmától és a technológiai integráltságtól. A hidrogénkihozatal optimalizálása érdekében gyakran alkalmazzák a vízgáz-reakciót, ami növelheti a végső hidrogéntartalmat, viszont hőigénye tovább növeli az energiafelhasználást. A folyamat akkor tekinthető energetikailag versenyképesnek, ha hővisszanyerés vagy kapcsolt energiatermelés is megvalósul [22].

Környezeti szempontból a TSZH-alapú hidrogéntermelés kettős hatással bír. Pozitívum, hogy a hulladékok energetikai hasznosítása csökkenti a lerakásra kerülő anyagok mennyiségét, valamint fosszilis energiahordozók kiváltására is alkalmas. Ezzel szemben a TSZH heterogén jellege miatt az elgázosítás során károsanyag-képződés (pl. dioxinok, furánok, klórozott vegyületek) is felléphet, ha a műanyag frakció nagy arányú. Ezen szennyezők eltávolítása megfelelő szűrőtechnológiát és utóégetést igényel, ami növeli a környezeti lábnyomot. A CO₂-kibocsátás is jelentős lehet, de a TSZH egy része biológiai eredetű, így a kibocsátás egy része „biogén” jellegű, és nem sorolható az antropogén CO₂ közé. Az integrált szűrési és gáz-kezelési megoldások nélkülözhetetlenek a környezetvédelmi előírások betartásához [22].

Fordított elektrodialízis

A fordított elektrodialízis olyan elektrokémiai eljárás, amely a különböző sókoncentrációjú vizes oldatok között kialakuló természetes ionvándorlás hasznosítására fejlesztettek ki. Az eljárás során két oldat közé sorba rendezett ioncserélő membránokat helyeznek, amelyek váltakozva engedik át a pozitív vagy negatív töltésű ionokat. A folyamat nem közvetlenül az oldatokból termel hidrogént, hanem a létrejövő elektromos energiát másodlagosan vízbontásra is fel lehet használni. A rendszer működése során az ionáramlás a koncentrált oldatból a hígabb felé történik, a membránokon átjutó ionok pedig egyirányú töltésszétválasztást idéznek elő, amelyből feszültség képződik. Ezt a feszültséget elektródák segítségével lehet elektromos munkává vagy elektrolízis útján hidrogénné konvertálni. A technológia alkalmasabb lehet tengerparti települések szennyvíz-kezelő telepein történő alkalmazásra, ahol az édesvíz és a sóban gazdag szennyvíz egyszerre áll rendelkezésre. Ezzel az eljárással korábban hulladéknak tekintett vízforrásokból energia és hidrogén is nyerhető. Ezzel javul a vízkezelés hatékonysága, illetve a decentralizált, környezeti erőforrásokat újrahasznosítható energiarendszer is kiépíthető [23].

Energiahatékonyság szempontjából a fordított elektrodialízis önmagában nem tekinthető közvetlen hidrogéntermelő eljárásnak, mivel a rendszerben keletkező elektromos energia csak másodlagosan használható vízbontásra. A RED elektromos hatásfoka laboratóriumi rendszerek esetében 20–30% körül mozog, ami a teljes hidrogénelőállítási láncban, vízbontással együtt számítva, jelentősen csökkenti az összenergetikai hatásfokot. A fő előny nem az abszolút energiahatékonyságban rejlik, hanem abban, hogy a folyamat működéséhez nincs szükség hagyományos tüzelőanyagra – csupán koncentrációgradiensre –, így egy passzív, kisüzemi energiaforrásként is működtethető [23].

Környezeti szempontból a fordított elektrodialízis előnyös technológia lehet, különösen olyan területeken, ahol nagy mennyiségű sós víz vagy sóban gazdag szennyvíz áll rendelkezésre. A rendszer működéséhez nincs szükség fosszilis energiahordozóra, és a

működés során nincs közvetlen CO₂-kibocsátás, ami kiemelkedő előnyt jelent a hagyományos hidrogéntermelési eljárásokhoz képest. Emellett a technológia hozzájárulhat a szennyvíz értéknövelt kezeléséhez, mivel a tápoldatként szolgáló sós szennyvíz energetikai hasznosításra kerül ahelyett, hogy hulladékként ártalmatlanítanak. Az egyetlen számottevő környezeti kihívás az ioncserélő membránok élettartama és selejtkezelése, amelyek cseréje során keletkező veszélyes hulladék megfelelő kezelést igényel [23].

Fémhulladék alapú hidrogénelőállítás

Az ipari folyamatok során óriási mennyiségű vashulladék, kohászati hulladék és vasfém keletkezik, amelyek hasznosítása ésszerű. Laboratóriumi léptékben megvalósított kísérletek során fémhulladékokból egy töltött oszlopú reaktorban magas hőmérsékleten, a vízgőz bevezetésével (vízbontással) zöld hidrogént állítottak elő a fémhulladék oxidációja közben [24].

A szuperkritikus állapotú vízben lejátszódó folyamatok lehetőségeiről és hidrogén előállításában betölthető szerepét közel húsz évvel ezelőtt felismerték, azonban a nukleáris atomerőművek üzemeltetése során a hidrogénkeletkezés meggátlása a cél [25].

Egy nemrégiben megjelent összefoglaló cikk hangsúlyosan tárgyalja, hogy a reaktív könnyűfémek (pl. alumínium, magnézium, cink) vízzel lépnek kölcsönhatásba, miközben hidrogén szabadul fel [26]. Természetesen ehhez magas hőmérséklet és megfelelő aktiválási energia szükséges. Kínai kutatók egyes alumíniumhulladék – italos dobozok, ajtókeretek, keréktárcsák és akkumulátorok tokjai – feldolgozását illetően különböző reakciókörülmények között magas Al/H₂ konverziót értek el laboratóriumi körülmények között [27]. Az alumínium anyagát tekintve viszont értékes anyag, így gazdasági megfontolások alapján lehet, hogy érdekesebb az anyagában történő visszaforgatás, mint a hidrogénfejlesztés lehetősége.

Fémhulladékok anyagát tekintve vas, cink, titán és alumínium játszik döntő szerepet. Ezekben az esetekben a hidrogénelőállítás kémiai úton vízzel, savas/lúgos oldatok reakcióival, és fémoxidok hidrolízisével történik. A folyamat alapja, hogy bizonyos fémek vízzel történő reakciója során oxidáció megy végbe, miközben a víz redukálódik, és hidrogéngáz fejlődik [26]. Ilyen megfontolások alapján a fémhulladék nem a szénelapú hidrogénelőállítás alternatívája, hanem inkább egy új reakciótér lehetősége, amelyben a fémhulladék értékes nyersanyagként játszik szerepet.

A fémhulladék-alapú hidrogéntermelés előnye, hogy viszonylag kis berendezésigényű rendszerekben is működtethető, és olyan környezetekben is alkalmazható, ahol nincs stabil gáz- vagy villamosenergia-ellátás, de rendelkezésre áll víz és fémhulladék. Jelenleg kutatási fázisban lévő, kiegészítő hidrogéntermelési technológiaként értelmezhető. A jövőbeli szerepe elsősorban attól függ, hogy sikerül-e olyan környezetbarát, energiahatékony aktiválási módszereket kidolgozni, amelyek valóban versenyképesé teszik ezt az irányt más, már jól bejáratott hidrogéntermelési eljárásokkal szemben [24].

Összefoglalás

A jól ismert és kiforrott fosszilis alapú hidrogéntermelési technikák mellett számos feltörekvő új hidrogénelőállítási módszert fedeztek fel és vizsgálnak kutatók laboratóriumi körülmények között. A feltörekvő technikák között nagy szerepet játszik a biológiai hidrogénelőállítás a különböző fermentációs eljárásokkal, de a limitált körülmények közötti alkalmazhatósága és környezeti körülményekre érzékeny mikroorganizmus miatt ipari léptékű megvaló-

sításban inkább a kémiai eredetű hidrogéntermelés játszhat majd szerepet.

Kulcsfontosságú minden olyan technika, amelyben valamilyen hulladékból – legyen az folyadék vagy szilárd – állíthatunk elő értékes terméket, esetünkben hidrogént. A hulladékok nyelviségének csökkentése, azokból értékes anyag előállítása nagy mértékben hozzájárul az Európai Unió körforgásos gazdaság elméletének gyakorlatba történő átültetéséhez. A feltörekvő hidrogéntermelési eljárások közül a léptéknövelés kérdése, valamint a félüzemi méretű hidrogéntermelés energiaigénye és gazdaságossága lesz az, amely alapján azt mondhatjuk, hogy a technológia életképes és jövő hidrogéntermelési módszereként terjed el.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak Szabó Balázs Bálint, Beregszászy Anna és Kurdi Levente MSc energetikai mérnök hallgatóknak a közlemény előkészítésében végzett alapos munkájukért. A közlemény az OTKA FK-143215. számú NKFIH által támogatott projekt keretében valósult meg. A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta. RRF-2.3.1-21-2022-00009, azonosítószámú, Megújuló Energiák Nemzeti Laboratórium megnevezésű projekt a Széchenyi Terv Plusz program keretében, az Európai Unió Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszközének támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- [1] C. Tarhan and M. A. Çil, A study on hydrogen, the clean energy of the future: Hydrogen storage methods, Aug. 01, 2021, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.est.2021.102676.
- [2] Szabó Balázs Bálint ; Dr. Cséfalvay Edit, Hidrogénelőállítási módszerek elemzése Diploma-munka, Budapest, 2024.
- [3] A. M. P. Peedikakkal and I. H. Aljund, Upgrading the hydrogen storage of mof-5 by post-synthetic exchange with divalent metal ions, Applied Sciences (Switzerland), vol. 11, no. 24, Dec. 2021, doi: 10.3390/app112411687.
- [4] N. T. Xuan Huynh, V. T. Ngan, N. T. Yen Ngoc, V. Chihai, and D. N. Son, Hydrogen storage in M(BDC)(TED)0.5 metal-organic framework: physical insights and capacities, RSC Adv, vol. 14, no. 28, pp. 19891–19902, Jun. 2024, doi: 10.1039/d4ra02697g.
- [5] M. Vadász, A hidrogén földgázhálózatba történő bekeverése: Műszaki és üzemeltetési kihívások – Blending hydrogen into the natural gas network Technical and operational challenges. [Online]. <http://www.bei.uni-miskolc.hu>, utolsó elérés: 2025.06.02.
- [6] N. De Blasio, The Colors of Hydrogen. [Online]. <https://www.belfercenter.org/research-analysis/colors-hydrogen>, utolsó elérés: 2025.06.11.
- [7] F. Osselin, C. Soulaire, C. Fauguerolles, E. C. Gaucher, B. Scaillet, and M. Pichavant, Orange hydrogen is the new green, Nat Geosci, vol. 15, no. 10, pp. 765–769, Oct. 2022, doi: 10.1038/s41561-022-01043-9.
- [8] V. J. Aimikhe and O. E. Eyankware, Recent Advances in White Hydrogen Exploration and Production: A Mini Review, Journal of Energy Research and Reviews, vol. 13, no. 4, pp. 64–79, Apr. 2023, doi: 10.9734/jenrr/2023/v13i4272.
- [9] I. Energy Agency, Global Hydrogen Review 2024, 2024. [Online]. www.iea.org. Utolsó elérés: 2025.06.06.
- [10] <https://www.messer.hu/2.-az-ipari-gazok-fobb-elallitasi-modszerei>. 2025. 06. 05.
- [11] A. Midilli, H. Kucuk, M. E. Topal, U. Akbulut, and I. Dincer, A comprehensive review on hydrogen production from coal gasification: Challenges and Opportunities, Int J Hydrogen Energy, vol. 46, no. 50, pp. 25385–25412, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2021.05.088.
- [12] J. J. Alvarado-Flores et al., Thermochemical Production of Hydrogen from Biomass: Pyrolysis and Gasification, Jan. 01, 2024, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/en17020537.
- [13] G. T. Hong, M. H. Spritzer, and G. Atomics, Supercritical water partial oxidation, 2002.
- [14] A. Aliyu, J. G. M. Lee, and A. P. Harvey, Microalgae for biofuels: A review of thermochemical conversion processes and associated opportunities and challenges, Bioresour Technol Rep, vol. 15, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.biteb.2021.100694.
- [15] Stargate Hydrogen, Exploring the Basics of Hydrogen Electrolysis, Accessed: May 23, 2025. [Online]. <https://stargatehydrogen.com/blog/basics-of-hydrogen-electrolysis/> utolsó elérés: 2025.06.06.
- [16] U.S. Department of Energy, Hydrogen Production: Electrolysis, Accessed: May 23, 2025. [Online]. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>, utolsó elérés: 2025.06.06.
- [17] B. Mohamed Jan, M. Bin Dahari, M. Abro, and R. Ikram, Exploration of waste-generated nanocomposites as energy-driven systems for various methods of hydrogen production; A review, Int J Hydrogen Energy, vol. 47, no. 37, pp. 16398–16423, Apr. 2022, doi: 10.1016/j.ijhydene.2022.03.137.
- [18] P. K. Meena and P. M. Patane, Biohydrogen: Advancing a sustainable transition from fossil fuels to renewable energy, Jan. 27, 2025, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.ijhydene.2024.12.396.
- [19] C. N. Dasgupta et al., Recent trends on the development of photobiological processes and photobioreactors for the improvement of hydrogen production, Oct. 2010. doi: 10.1016/j.ijhydene.2010.06.029.
- [20] J. Baeyens et al., Reviewing the potential of bio-hydrogen production by fermentation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 131, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110023.
- [21] Y. J. Sung, B. S. Yu, H. E. Yang, D. H. Kim, J. Y. Lee, and S. J. Sim, Microalgae-derived hydrogen production towards low carbon emissions via large-scale outdoor systems, Nov. 01, 2022, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.biortech.2022.128134.
- [22] N. Gábor: Éttekezdei hulladékok pirolízis útján történő hasznosításának vizsgálata. PhD értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2019.
- [23] M. Micari, F. Giacalone, A. Cipollina, G. Micale, and A. Tamburini, Reverse electrodialysis heat engine (REDHE), Salinity Gradient Heat Engines, pp. 127–162, Jan. 2021, doi: 10.1016/B978-0-08-102847-6.00004-8.
- [24] R. B. Hari Krishna, H. Deka, T. Sundararajan, and G. R. Rao, Green hydrogen production by water splitting using scrap metals at high temperature, Int J Hydrogen Energy, vol. 49, pp. 1133–1138, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2023.08.366.
- [25] Schiller Róbert: Szuperkritikus víz és hidrogén gazdaság. Nukleon I. évf. 2008. 07.
- [26] Abdelkareem, M. A., Olabi, A. G. Hydrogen from waste metals: Recent progress, production techniques, purification, challenges, and applications. In: Sustainable Horizons. Volume 9, March 2024, 100079
- [27] X. Chen, C. Wang, Y. Liu, H. Zou, K. Lin, S. Yang, Y. Lu, J. Han, Z. Shi, X. Liu, Portable water-using H₂ production materials converted from waste aluminum, Energy Sources Part A, 40 (17) (2018), pp. 1991–1997, doi: 10.1080/15567036.2018.1477880

Gondolatok a klímaváltozás narratíváiról

Reményi Károly

az MTA rendes tagja, kremnyi@gmail.com

A globális hőmérsékletnek a szén-dioxid koncentráció változására alapuló klímaváltozási narratívájának kudarca után gondolkodni kell egy, az emberiség számára hasznos klíma narratíva lehetőségén. A régmúlttól kezdve azt látjuk, hogy a mai napig rövidebb – hosszabb ciklusú hideg – meleg időszakok váltják egymást, míg a szén-dioxid változásban ilyen ciklikusság nem mindig fedezhető fel. Felmerül, hogy a hőmérséklet változása vonja maga után a CO₂ változását. A jelen időszakban legjelentősebb számunkra a globális trendek és az utóbbi 10 000 éves cikluson belüli sub-ciklusok elemzése. Jelenleg egy interglaciális utolsó felmelegedési időszakában vagyunk. Ez után globálisan egy lehűlési folyamat várható. A nagy régiókban való felkészülési feladatokat a régió nagy természeti folyamatai határozzák meg. A jelenben pedig az éves ciklusokban a meteorológusok időjárás jóslatai a mérvadók. Új narratíva a trend, a ciklusos jelleg és régió meghatározó természeti folyamatai alapján az alkalmazkodás.

*

After the fiasco of the climate change narrative based on the change in global temperature and carbon dioxide concentration, we need to think about the possibility of a climate narrative that is useful for humanity. From the ancient past, we have seen that shorter and longer cyclical cold and warm periods alternate until today, while such cyclicity cannot always be detected in carbon dioxide changes. It appears that temperature changes entail changes in CO₂. In the present period, the analysis of global trends and cycles within the last 10,000-year cycle is most significant for us. We are currently in the last warming period of an interglacial. After this, a cooling process is expected globally. The tasks of preparation in large regions are determined by the large natural processes in the region. In the present, the weather forecasts of meteorologists are authoritative in annual cycles. A new narrative is adaptation based on the trend, cyclical nature and natural processes determining the region.

Az utóbbi hónapokban világhírű professzorok meghívásával a Professzorok Batthyány Köre rendezésében magas szintű tudományos előadások hangzottak el Budapesten és Sopronban. A kitűnő rendezés és szervezés mellett az igen aktív személyes tudományos véleményeikért Szarka László Csaba akadémikusnak jár elismerés és köszönet. Külön említésre méltó, hogy az előadások hangban és írásban angol és magyar nyelven is hozzáférhetőek. Két világhírű tudós szakember Samuel Furfari¹ az energetika témában „Energia-bizonytalanság, az EU versenyképességének

tudatos szétverése” címmel (2024. 11. 28.), Richard Lindzen² a klímaváltozás témában „Klímavészhelyzet: miért hibás e narratíva csaknem minden vonatkozása” címmel (2025. 01. 29.) tartott előadást. Elhangzott egy további előadás és egy fórum került megrendezésre.

Furfari előadásának szó szerinti leiratából idézve néhány fontos gondolat: „Mindenféle energiát használunk. Alapvetően szénenergiát. Mi azt gondoljuk Európában, hogy a szén a múlté, de ez nem igaz. A szén igenis fontos energiaforrás, és a szén iránti igény nő. Az Európai Unió a múltban igen bölcs volt. 1955 júniusában elfogadtak egy határozatot, a Messinai Határozatot (megtalálható az interneten). Ebben kinyilvánították, hogy „az Európai Uniónak bőséges és olcsó energia nélkül nincs jövője”. Később azután, amit elértünk, mindent eldobtunk magunktól, a dekarbonizáció érdekében. Ma az EU mindenféle irányelve egyet jelent a dekarbonizációval. A teljes Európai Bizottság a dekarbonizáción dolgozik. Mindent lecserélni napielemekekre: ez a mostani Európai Bizottság irányelve. 2022-ben egyáltalán nem említik a nukleáris energiát. Az európai polgárok jóléte érdekében elengedhetetlen, hogy folyamatosan dolgozzunk az atomipar fejlesztésén. Nem a klímaváltozás miatt; a klímaváltozást az ötvenes években senki meg sem említette. Ha mindezt átranzszformáljuk primer energiába, a megújuló aránya a primer energia terén mindössze 3 százalék! Európában a megújuló energia aránya 3 százalék! És 100%-ot akarnak elérni... A világ többi részén a növekvő energiaigényt 80 százalékban fosszilis energiával elégítik ki. A világ egyre jobban támaszkodik a fosszilis forrásokra, mint megújuló energiákra. Úgyhogy a globális dekarbonizáció csupán egy vicc. Valóban nagy veszélyben vagyunk, méghozzá a dekarbonizáció miatt. A növekedéshez olcsó és bőséges energia kell. És az az igazság, hogy ami olcsó és bőséges energia, az nem „megújuló”. Azerbajdzsán elnöke nyitotta meg a COP29 konferenciát, ahol azt mondta, hogy „a kőolaj és a földgáz Isten ajándéka”, és ezután is használni fogjuk. És Mr. Trump is ugyanígy gondolkodik. Az IPCC mandátuma csupán az emberi eredetű éghajlatváltozás tanulmányozására terjed ki. Nem a klímaváltozásra általában. A klímának hatalmas változásai vannak, és ezután is lesznek. Ha az EU-kibocsátás csökkenését nézzük. Ha minden így megy tovább, 2050-re a kibocsátás nullára csökken. Magyarország CO₂-kibocsátása globálisan 0,1 százalékot jelent. Ha teljesen leállítanak

² Richard Lindzen légkörfizikus, a Massachusetts Institute of Technology (MIT) professzor emeritusa. Aktív pályafutása alatt „Alfred P. Sloan” meteorológia-professzor volt az MIT Föld-, Légkör- és Bolygótudományi Tanszékén. Jelentősen hozzájárult a (légköri hőt és impulzusnyomatékot a trópusról a magasabb földrajzi szélességekre szállító) légköri Hadley-keringés jelenleg elfogadott elméletének kidolgozásához, és előmozdította a kis léptékű légköri gravitációs hullámok szerepének megértését a globális hőmérsékleti gradiensek a mezopauza-beli átfordulásában, és elfogadott magyarázatokat adott a légköri árapályokra és a trópusi sztratoszféra kvázi-kétéves oszcillációjára. Lindzen megkapta az AMS (Amerikai Meteorológiai Társaság) Meisinger- és Charney-díját, az AGU (Amerikai Geofizikai Unió) Macelwane-érmét és a Leo Huss Walin-díjat. Tagja az USA Nemzeti Tudományos Akadémiájának (NAS), a Norvég Tudományos Akadémiának, valamint az Amerikai Művészeti és Tudományos Akadémiának, az Amerikai Tudományos Fejlődésért Szövetségnek, az Amerikai Geofizikai Uniónak és az Amerikai Meteorológiai Társaságnak. A NAS Emberi Jogi Bizottságának levelező tagja, valamint tagja az NRC (USA Nemzeti Kutatási Tanács) Légkörtudományi és Éghajlati Tanácsának, valamint az AMS Tanácsának.

¹ Samuel Furfari (1953) vegyészmérnök, 36 éven át volt az Európai Bizottság energiaügyi főtisztviselője. 2003 óta tanít geopolitikát és energiapolitikát. Tizenhat, energiával és fenntartható fejlődéssel foglalkozó könyv és nagyszámú tanulmány (közöttük a 2024. októberi keltezésű elemzés a Draghi-jelentés energia-vonatkozásairól) szerzője. 2023-ban megjelent könyve: Energiabizonytalanság: Az EU versenyképességének szervezett szétverése.

mindent, senki se fog Önöknek köszönetet mondani ezért. Csak annyi történik, hogy tönkre teszik a gazdaságukat.” [1].

Lindzen előadásának néhány részlete:

„Rögzítsük le, hogy a modern ipari civilizáció üvegházhatású gázkibocsátása valóban melegebbé teszi a légkört, aminek következtében egyes régiók szenvednek, mások pedig profitálnak belőle. Tény, hogy a Földön több tucat egymástól eltérő éghajlati rezsim létezik. A valóságban a helyi 30 éves átlagok és a globális átlag anomáliái közötti korreláció igen csekély. Évezredes vagy annál rövidebb időléptékben szinte az összes ismert éghajlati ingadozás lokális és trópuson kívüli. Akkor mi okozza a helyi klímaváltozást? A változás elsősorban a trópus és a sarkok közötti hőmérsékletben következett be, nem pedig a trópusi hőmérséklet változásában. Az üvegházhatás ugyan fontos szerepet játszik a trópusi hőmérséklet kialakításában, de a trópus és a pólusok közötti hőmérsékletkülönbséget a hidrodinamikai hőszállítás határozza meg.

Az a tény, hogy az IPCC modellek jelentős változásokat mutatnak a trópusok és a pólusok közötti hőmérsékletben, az adatokkal ellentétes. Ez az eltérés egyszerűen annyit jelent, hogy a modellek hibásak. A 70-es években a figyelem a CO₂-re és üvegházhatására, és annak a felmelegedéshez való hozzájárulására irányult. A CO₂ ellenállhatatlan vonzerővel bírt ahhoz, hogy a politikai ellenőrzés az örültségig fajuljon. Akadt azonban egy probléma: a CO₂ kisebb jelentőségű üvegházhatású gáz, mint a természetes úton keletkező vízgőz. A CO₂ kibocsátás megkétszerezése kevesebb, mint 1 °C felmelegedést okozna. E kérdésben Manabe és Wetherald 1970-es évek elején készült tanulmánya szolgáltatta a mentőötletet úgy, hogy a klímodellek fő jellemvonása a pozitív visszacsatolás lett [2], ami a CO₂ koncentráció megduplázódásának hatását a csekély, legfeljebb 1 °C értékről 3-ra, sőt 4-re növelte. Mindenki számára nyilvánvalónak kell lennie, hogy a konszenzusos állítás mindig is propaganda-jellegű volt, de a konszenzus bizonygatásának is megvannak a maga érdekességei” [2].

Lindzen legfigyelemreméltóbb következtetése az, hogy el kell dobni a CO₂-re alapuló globális felmelegedési narratívát és különösen a trópusokra figyelemmel újat kell alkotni.

Bevezetés

Korábban is, de különösen az utóbbi évtizedekben a tudományos világban is a tudósok széles köre felismerte, hogy a média igen széles térhódításával, népszerűsíthető művekkel, egyes természeti jelenségek hatásának eltúlzásával nagyon jó jövedelemre lehet szert tenni. Valóságos természeti folyamatokra alapozva új tudományok, a „Katasztrófa Tudományágak” születtek. A fontosabbak:

- Napkoronakikéződés
- Aszteroidák, meteorok
- Földrészek egyesülése (kb. 4 milliárd év)
- Tengerszint emelkedés, jégmező olvadás (összes jég 114m)
- Golf áramlat leállása
- Föld pólusváltása
- Energiaforrások elfogyása (a realitásokon túl)
- Klímaváltozás (a realitásokon túl)

Ezek közül is minden elképzelhető felül múlva ért el sikereket az ember szerepének felértékelése a klíma változásában. Jelenleg már megállapítható, hogy az évtizedek óta, a kezdetétől kudarcokkal bukácsoló mozgalom megbukott. Saját széleskörű kutatásaim eredményeit tézisekben foglaltam össze, letéve egy csokrot az avult narratíva sírjára:

1. A klímaváltozás evidencia.
2. A szén-dioxid nem szennyezőanyag.
3. A konszenzus nem tudományos érvelés.
4. A hőmérséklet intenzív paraméter, így a meteorológiai állomásokon mért értékek összegzésének számtani átlagolásával nyert, globális hőmérsékletnek nevezett érték fizikailag nem értelmezhető.
5. A légköri rendszerben kaotikus folyamatok zajlanak, így a klíma változása is kaotikus jelenség, nem prognosztizálható.
6. A légkört alkotó gázok a közül a szén-dioxid mennyiség változása viszonylag gyorsan és a teljes légkörre kiterjedően érzékelhető. Ezért a számításokhoz kedvező paraméter.
7. A szén-dioxid változás és a globális hőmérsékletváltozás közötti korreláció nincsen tudományosan alátámasztva. A Vosztok jégfuratos módszerrel végzett mérések adatai, de az elmúlt száz év adatai alapján több ezer éves, illetve több évtizedes ellentétesen változó szakaszokat mutatnak.
8. A körülbelül százezer éves lehülési – felmelegedési ciklusoknál a lehülési szakasz lényegesen lassabb a felmelegedésinél.
9. A klímaváltozással kapcsolatos tevékenységet, ismeretterjesztést és intézkedéseket az IPCC uralja. E szervezet nem tudományos, bár az anyagaik kidolgozásában sok kutató is részt vesz. Az IPCC -n kívül világszerte számtalan kutatóhelyen folyik klímakutatás, modellezés.
10. A klímodellezésnél bár mindig megjegyzik, hogy a klíma alakulásában igen sok tényező szerepet játszik, de végül mégis döntő szerepet tulajdonítanak a szén-dioxidnak. A szén-dioxid kibocsátás csökkentésének erőltetésével világméretben rossz irányba befolyásolták az energetikai fejlesztéseket és társadalmi méretű „klímastresszt” idéztek elő.
11. A modellekkel prognosztizált értékek lényegesen eltérnek a valóságban megvalósultaktól. Időszakonként jelentős korrekciókra kerül sor. A modellek részletei nem ismertek.
12. Az ismeretterjesztésnél megtévesztést is felhasználnak. Az erőművek és ipari létesítmények hűtőtornyainak gőzfelhőivel hatásos kép készíthető a környezetszennyezésre. Hasonlóan szénhidrogén tüzelésnél a füstgázban lévő nedvességfelhő jól fényképezhető. A szén-dioxid összetevő nem szennyezőanyag.
13. Esetenként súlyos csalás is előfordult, amit igaz, jogtalan esz-közökkel, sokezer e-mail meghekkelésével lepleztek le. Sajnos azonban a témában nem teljesen korrekt, irányított és „egyeztetett” eredmények is találhatók. Egy ilyen eset a University of East Anglia kutatójához, Phil Joneshoz kötődik. A világ egyik meghatározó klímakutató központjaként számon tartott University of East Anglia számítógépes rendszereit feltörve, ismeretlenek közzétettek tizenhárom év alatt íródott több ezer, visszaélést sejtető e-mailt és egyéb dokumentumot. Az iratok szerzői között megtalálhatóak néhányan a világ legismertebb klímatudósai közül is, akik részt vettek például az ENSZ 2007-ben lezárult nagyszabású kutatásában [3].

A szén-dioxid globális hőmérséklet narratíva megbukásával, tehát világossá vált, hogy a klíma jövőbeni megjósolásához új utakat kell keresni. Ezt ismerte fel Lindzen, aki rögtön bemutatta saját figyelemre méltó új narratíváját, ami elsősorban a trópusok és egyéb földi régiók klímájának kölcsönhatásának eredményeként létrejött klímák vizsgálatára összpontosít. Ez értékes eredményeket fog hozni a földi klíma globális változásaira is.

Úgy gondolom, hogy az új narratívának az emberiség által szükséges teendőkre is választ kell adni, mint amint a jelenlegi, a szén-dioxid csökkentésében meg is adta a rendkívül kárt okozó egyszerű megoldását.

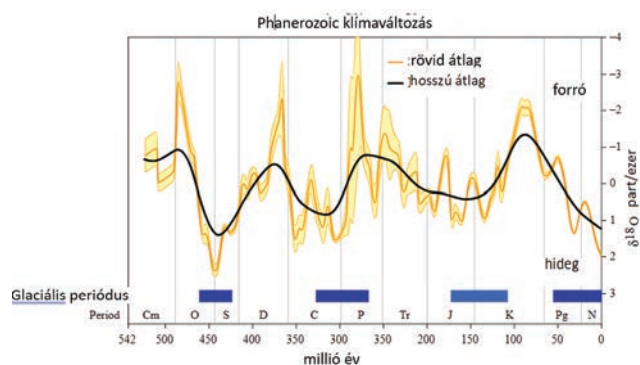
Szerintem is narratíva váltásra van szükség. A 80-100 évre való előre tekintés szerintem még inkább közel az időjárás területébe tartozik és nem a klímába. A klíma a természeti ciklusok törvényszerűen kb. 10 000 és 100 000 éves ciklusok és a közöttük levő időszakról szól. A kutatásnak a nagy természeti folyamatok megismerésére kell koncentrálni és az Új narratíva az ALKALMAZKODÁS kell legyen.

Úgy látszik, hogy a gigantikus természeti folyamatok általában kisebb- nagyobb idő eltérésekkel közel szabályos vagy szabálytalan ciklikusban zajlanak le. Ezekbe az emberiségnek nincsen beleszólása. Illesszük be magunkat a ciklusokba. Kézenfekvőnek tűnik az ötlet, hogy ezeknek a hatásait és azok változásait vizsgáljuk minél mélyrehatóbban és a megismerni kívánt időpontokban nézzük meg azok állapotát, hatásait a közvetlen környezetükre és együttesen összhatásukat a földünk klímájának kialakulására. E módszer alapján az új narratíva a nagy természeti mozgások környezetében lévő régiók változási trendjének megismerése és az alkalmazkodás.

Az önkényesen kiválasztott alapvető természeti folyamatok

A Napfoltok, az El Niño és El Niña, a Golf-áramlás, a Felhőzet, a Milankovich ciklusok, a CO₂. Az alapgondolat a periódusban való helyzet alapján alkalmazkodás. E folyamatok nagyon részletes tudományos kutatása jelenleg is folyik, ezért csak néhány alapvető tulajdonságukra térünk ki. A földi klímában globális mértékben megfigyelt ciklusok:

1. A távoli múltban



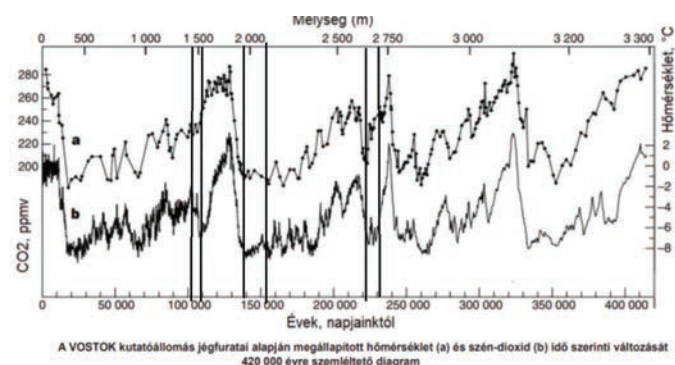
1. ábra. Évmilliók klíma ciklusok [4]

Az oxigénizotóp-arányok hosszú távú periodikus alakulása a fanerozoikum eon során, kőzetekben mérve segít a lokális hőmérséklet megismerésében. Az arányok tükrözik mind a lerakódás helyének lokális hőmérsékletét, mind pedig az állandó kontinentális eljegesedés mértékével összefüggő globális változásokat. Az oxigénizotóp-arány relatív változása az éghajlat durva változásaként értelmezhető. A becslések szerint a δ18O minden 1 ezrelékes változása nagyjából 1,5-2 °C-os változást jelent a trópusi tengerek felszíni hőmérsékletében. A fanerozoikus szén-dioxid koncentrációját részben egy 26 millió éves óceáni kéregciklus szabályozta. A devon óta a szén-dioxid nagy, 2000 ppm vagy annál nagyobb ingadozása rövid időn belül ritka volt. A globális hőmérséklet ingadozásait korlátozták a foszforciklus negatív visszacsatolásai, A fanerozoikum idején >7 °C-os globális hőmérséklet-ingadozások voltak [4].

2. Százezeréves lépték

Az Antarktiszon kutató Vostok jégfuratai alapján az elmúlt 420 000 évre a négy glaciálisra és az öt interglaciálisra, tovább-

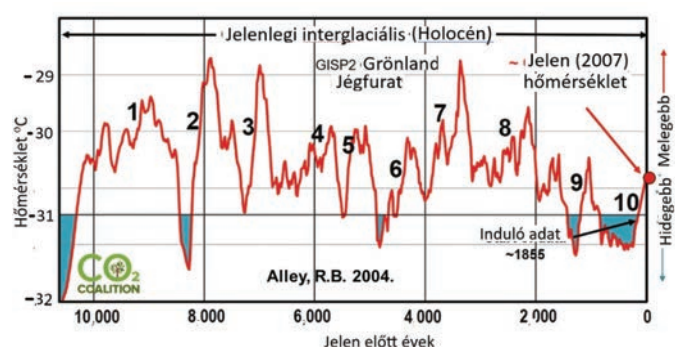
bá a jelen időszakra megállapított hőmérsékletváltozás közel 100 000 – 110 000 éves ciklusokat mutat. Hosszú glaciálisok, rövid interglaciálisok. A négy interglaciálisban a jelenleginél 1–3 °C-kal melegebb volt. A jelenlegi interglaciális kb. 11 600 éve tart. A szén-dioxidkoncentráció jelenleg 400ppm. A jelen interglaciális 2 °C-kal hidegebb a megelőző interglaciálisnál. A glaciációs ciklusok egyik alternatív magyarázataként az éghajlati rendszer többes egyensúlyt mutató jellege is szóba került. Ennek értelmében az eljegesedési szakaszok, illetve az interglaciálisok a rendszer egy-egy meta-stabil állapotát jelentik. Külön figyelemre méltó, hogy ezer évekre a szén-dioxid és a hőmérséklet változása ellentétes tendenciát mutat. Ez döntő cáfolata a jelenlegi narratíva állításának. [5].



2. ábra. Százezer éves hőmérséklet és szén-dioxid ciklusok [5]

3. Tízezeréves lépték

Az elmúlt 10 000 év hőmérsékleti adatait bemutató diagram a korábbi elmúlt 10 000 évek felmelegedési trendjeihez hasonlít. Számunkra elsősorban a trend érdekes, mert a korrektség megkívánja, hogy a számértékeken és az értékeléseken a kutatók között éles vita alakult ki. A cikk szerzőjének alap értékelése szerint a jelenlegi interglaciális meleg időszak több mint 6 100 évében (vagyis 60%-ában) a hőmérséklet melegebb volt, mint ma. A legutóbbi jégkorszak vége óta eltelt kilenc korábbi jelentős felmelegedési periódus közül ötben volt magasabb a hőmérséklet-emelkedés mértéke, hétben pedig nagyobb volt a teljes hőmérséklet-emelkedés. Narratívánk szerint a trend és a ciklikusság a fontos, így a vitában nem kívánunk állást foglalni [6].



3. ábra. Az utóbbi 10 000 év hőmérsékleti ciklusok [6]

4. Éves lépték

A néhány tized fokos, hosszabb távú, átlagos hőmérséklet-emelkedés helyett, figyelemre méltók a rövid idejű, (például éves, vagy éven belüli) rövid ciklusú, a globálisnál lényegesen nagyobb mértékű (több tizedfok, de több fok is lehet) hőmérséklet-emelke-

dések. Az évenkénti jelentős hőmérséklet-ingadozások éppen a rendszer sajátosságára mutatnak, mivel a főbűnös szén-dioxid koncentráció változása minimális. Az 1984 közepe és 1987 közepe között a globális hőmérséklet különbség kb. 1 °C. Bizonyos régiókban egy két év változáskor több fokos hőmérsékletváltozást is mértek. Az évenkénti jelentős hőmérsékletváltozás okaként a szén-dioxidot kivehetjük a kényszerek közül, így marad a teljes rendszernek az önmozgása. Itt a felhőzet szerepe felértékelődik! Jelenleg az csak feltevés, hogy a légköri katasztrófák, például a gyakoribb óriásciklonok okát és gyakoriságuk növekedését ezen hőmérsékletváltozások okozta energia változásokban kell keresni. A hőmérsékletváltozások és az energetikai viszonyok kapcsolatának kutatása elsőrendű feladat. Hangsúlyozzuk, hogy éves léptékben a globális hőmérséklet viszonyok átrendezéséről van szó!

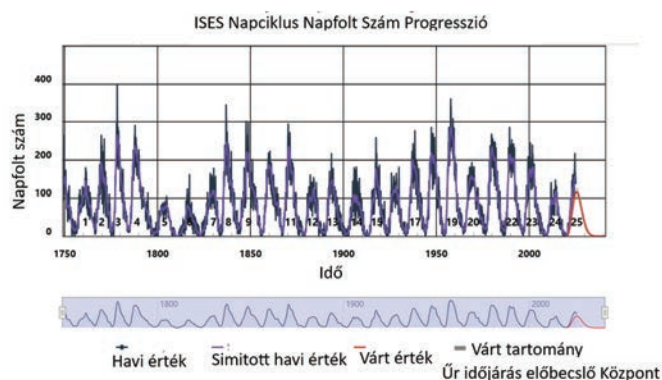


4. ábra. A globális hőmérséklet éves ciklusai

Napfoltok

A napfoltok sötét területek, amelyek a Nap fotoszféráján találhatók a nap belsejéből kifelé irányuló intenzív mágneses fluxus eredményeként. Ezek hidegebb (3 500 °C), sötétebb területeket hoznak létre a mágneses mezőknek a középpontjában, míg a környező fotoszférában fénylő (5 500 °C) – napfoltok találhatók. A napfoltok sokfélék. A napfolt legsötétebb területét (egyben az elsőként észlelt) umbrae-nek nevezik. Ahogy a napfolt intenzívebbé válik, az umbrae körül egy kevésbé sötét, külső terület alakul ki – ezt penumbra-nak nevezik. A legnagyobb napfoltcsoportok a Nap felszínén sokszorosa a Föld méretének. A napfoltcsoportokhoz egy NOAA/SWPC négyjegyű régiószámot rendelnek, hogy hivatalosan rögzítsék és nyomon kövessék a napfoltcsoportot. A napi napfoltlelemzést és -besorolást minden UTC-nap végén benyújtják a Solar Region Summary jelentésként. A napfoltok folyamatosan változnak, és néhány órától napokig, vagy hónapokig tarthatnak. A napfoltok teljes száma a napciklusnak nevezett körülbelül 11 éves ismétlődéssel változik. A napfoltok aktivitásának csúcsát szoláris maximumnak, csökkenését szoláris minimumnak nevezik. A napciklusokat egymást követő számokkal kezdték hozzárendelni. Ez a szám hozzárendelés az 1. napciklussal kezdődött 1755-ben, a legutóbbi pedig a 24. ciklussal – amely 2008 decemberében kezdődött, és mára a szoláris minimumhoz közelít [7].

A hivatalos napi és havi napfoltszámokat a World Data Center – Sunspot Index and Long-term Solar Observations (WDC-SILSO (link is external)) határozza meg a Belgiumi Királyi Obszervatóriumban. A foltok területét a Nap egy féltekéjének milliommód része (millionth solar hemisphere = MSH) egységben szokás megadni. A Nap foltokkal való fedettségének jellemzésére alkalmas pl. a napfoltok (MSH-ban megadott) összterülete. A napfolt alacsonyabb



5. ábra. Napfolt ciklusok [7]

hőmérséklete is a mágneses tér hatásával magyarázható. A Nap foltokkal való fedettségének jellemzésére alkalmas pl. a napfoltok (MSH-ban megadott) összterülete. A napfolt alacsonyabb hőmérséklete is a mágneses tér hatásával magyarázható. A napfolt tehát voltaképpen egy hideg „horpadás” a Nap felszínén. Jónéhány kutatás rámutatott, hogy a napfolttevékenység és a földfelszíni hőmérséklet között összefüggés lehetséges. Például 1645 és 1715 között (a feltalálójáról elnevezett „Maunder idején”) alacsony naptevékenység mellett a hőmérséklet annyira lecsökkent, hogy a Temze befagyott és a kontinensen éhség hullám alakult ki. Az 1990-es években a dán Henrik Svensmark asztrofizikus hipotézise szerint a napszél a felhőképződésre gyakorol hatást. Svensmark feltételezte, hogy a világűrből érkező galaktikus (kozmikus) sugárzás (Muonen) a levegő molekuláit ionizálja, a keletkező ionok pedig vízcseppecskék képződéséhez kondenzációs magokat képeznek, ezzel elősegítve a felhőképződést. Ez a földfelszín hűléséhez vezet. A Napból, a napfolttevékenység következtében is érkező töltött részecskék („napszél”), amelyek erős mágneses teret indukálnak, ezek csökkentik a földet támadó kozmikus sugárzást. Ha erősödik a napfolttevékenység, kevesebb kondenzációs mag és kevesebb felhő képződik, tehát nő a hőmérséklet, és fordítva.

El Niño and La Niña

El Niño

Általában a Csendes-óceánon nyugatra a passzátszelek fújnak az Egyenlítő mentén, és Dél-Amerikából Ázsia felé szállítják a meleg vizet. A meleg víz helyébe hideg víz emelkedik fel a mélyből – ez a folyamat a feláramlás. Az El Niño és a La Niña két ellentétes éghajlati jelenség, amelyek megtörik a normális körülményeket. Ezeket a jelenségeket El Niño-Southern Oscillation (ENSO) ciklusnak nevezik. Az El Niño és a La Niña egyaránt globális hatással lehet a klímára. Az El Niño és a La Niña tevékenységek általában 9-12 hónapig tartanak, de néha évekig is eltarthatnak. Az El Niño és a La Niña események átlagosan két-hét évente fordulnak elő, de nem rendszeres ütemben. Általában az El Niño gyakrabban fordul elő, mint a La Niña. A légkörre a Föld forgásának hatása formai torzító hatást fejt ki. Ez az ún. Coriolis-effektus, amely egy magas nyomású területtel azt okozza, hogy az uralkodó szelek – a passzátszelek – keletről nyugatra mozognak az Egyenlítő mindkét oldalán ezen a 60 fokos „övön”. Az Oceanic Niño Index (ONI) szabvány lett, amelyet a NOAA használ az El Niño (meleg) és a La Niña (hideg) események osztályozására a Csendes-óceán keleti trópusi részén. Ez a futó 3 hónapos átlagos SST anomália a Niño az 50N-50S régióban 120o-170oW). Az események 5 egymást követő, egymást átfedő

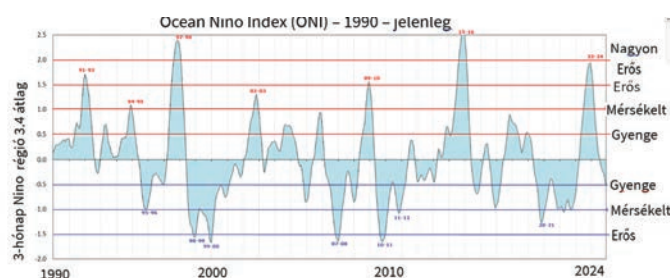
1. táblázat. Az erősség szerinti Nino csoportok

Gyenge - 11	Mérsékelt - 7	Erős - 6	Nagyon erős - 3	Gyenge- 12	Mérsékelt - 6	Erős - 7
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84	2020-21	1999-00
1977-78	2002-03	2023-24		1984-85	2021-22	2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
2014-15				2016-17		
2018-19				2017-18		
				2022-23		

3 hónapos időszakként definiálják a $+0,5^{\circ}$ -os vagy afeletti anomáliát meleg (El Niño) események esetén, és $-0,5$ anomálián vagy az alatt a hideg (La Niña) eseményeknél. A küszöböt tovább bontják gyenge (0,5–0,9 SST anomáliával), közepes (1,0–1,4), erős (1,5–1,9) és nagyon erős ($\geq 2,0$) eseményekre. El Niño idején a passzátszelek gyengülnek. A meleg víz visszaszorul keletre, Amerika nyugati partja felé. Az El Niño jelentősen befolyásolhatja időjárásunkat. A melegebb vizek hatására a csendes-óceáni sugárfolyam délre mozog semleges helyzetétől. Ezzel az eltolódással az Egyesült Államok északi része és Kanada szárazabb és melegebb a szokásosnál.

La Niña

A La Niña az El Niño-val ellentétes hatást fejt ki. A La Niña események alatt a passzátszelek még a szokásosnál is erősebbek, és több meleg vizet szállítanak Ázsia felé. Amerika nyugati partjainál megnövekszik a feláramlás, hideg vizet hozva a felszínre. Ezek a hideg vizek a Csendes-óceánban észak felé tolják a sugárfolyamot. A La Niña év során a téli hőmérséklet a szokásosnál melegebb délen, és hidegebb a normálisnál északon. A La Niña súlyosabb hurrikánszezonhoz is vezethet. La Niña idején a Csendes-óceán partjainál a vizek hidegebbek. [8], [9].



6. ábra. A Nino index éves változása [8]

A Golf áramlat

A Golf-áramlat egy erős óceáni áramlat, amely meleg vizet juttat az Amerikai-öbölből az Atlanti-óceánba. Az Egyesült Államok és Kanada keleti partjain, majd Nyugat-Európába. Több mint 500 éve tudunk a Golf-áramlatról. 1513-ban Ponce de Leon spanyol felfedező megállapította ezen a helyen az erős áramlatot. A 18. század végén Benjamin Franklin volt az első, aki térképen felvázolta a Golf-áramlat útvonálát. A Golf-áramlatot a körkörös áramlatok és erős szelek nagy rendszere okozza, amelyet óceáni körgyűrűnek neveznek. Öt óceáni körgyűrű van a Földön. A Golf-áramlat az

észak-atlanti szubtrópusi körgyűrű része. A Golf-áramlat meleg vizet hoz az Amerikai-öbölből egészen a Norvég-tengerig. A meleg víz érkezésével a hidegebb, sűrűbb víz lesüllyed, és dél felé halad – végül az óceán fenekén folyik egészen az Antarktiszig. Ez az erős melegvíz-áramlat befolyásolja Florida keleti partjának klímáját, télen melegebb, nyáron pedig hűvösebben tartja a hőmérsékletet, mint a többi délkeleti államban. Mivel a Golf-áramlat Európa felé is kiterjed, felmelegíti a nyugat-európai országokat is. A Golf-áramlat meleg vize nélkül Angliában sokkal hidegebb lenne az éghajlat [10]. Ma műholdak segítségével tanulmányozhatják a Golf-áramot.



7. ábra. A Golf-áramlás vázlatos ábrázolása [10]

A felhőzet

A felhő a levegőben a lebegő apró vízcseppek és jégkristályok halmaza, anyaguk szerint megkülönböztetünk:

- vízfelhőket,
- jégfelhőket,
- vegyes halmazállapotú felhőket

A vízfelhőkben a cseppek sugara 0,005-0,05 mm között változhat. A jégfelhők finom szerkezetű képződmények, a bennük lévő jégkristályok jóval nagyobbak, mint a vízfelhőben lévő cseppek. A vegyes halmazállapotú felhőkben vízcseppek, túlhűlt cseppek, jégkristályok és amorf jég található. a fejlődési fázistól függ.

A meteorológiában a felhő egy aeroszol, folyadékcseppek, fagyott kristályok vagy más részecskék látható tömegéből áll, a Földön felhők keletkeznek a levegő telítettsége következtében, amikor az lehűl a harmatpontjára. A nefológia, a felhők tudománya, amelyet a meteorológia felhőfizikai ágában folytatnak.

A troposzférában található felhők összetettsége és sokfélesége a fő oka annak, hogy nehéz számszerűsíteni a felhők éghajlatra és klímaváltozásra gyakorolt hatását. Egyrészt a fehér felhőket elősegítik a Föld felszínének lehűlését azáltal, hogy visszaverik a Napról érkező rövidhullámú (látható és közeli infravörös) sugárzást, csökkentik a felszínen elnyelt napsugárzás mennyiségét, fokozva a Föld albedóját. Ez hasonló az üvegházhatású gázok és a vízgőz üvegházhatásához. Az éghajlatra gyakorolt hatását különösen nehéz megjósolni a felhőmintázatok és -tulajdonságok változásait egy jövőbeli felhőhatásokat a jövő éghajlatára. A troposzféra felhőinek szerepe az időjárás és az éghajlat szabályozásában továbbra is a bizonytalanság egyik szinte kezelhetetlen forrása a globális felmelegedés előrejelzéseiben [11].

A Milankovich ciklus

A Milankovitch-ciklusok leírják a Föld mozgásában bekövetkezett változásoknak az éghajlatra gyakorolt több ezer év alatti kollektív hatásait. A kifejezést Milutin Milanković szerb geofizikus és csillagász alkotta meg és nevezte el.

Orbitális excentricitás

A Föld pályája megközelíti az ellipszist. Az excentricitás ennek az ellipszisnek a körkörösségtől való eltérését méri. A Föld pályájának a legmagasabb excentricitás 0,0679 volt az elmúlt 250 millió évben között, változik. A napsugárzás relatív növekedése a Naphoz legközelebbi megközelítésben (perihélium) a legtávolabbi besugárzáshoz (aphelion) képest valamivel nagyobb, mint az excentricitás négyszerese. A Föld jelenlegi keringési excentricitását tekintve a beérkező napsugárzás egy fél év alatt körülbelül 6,8%-kal változik.

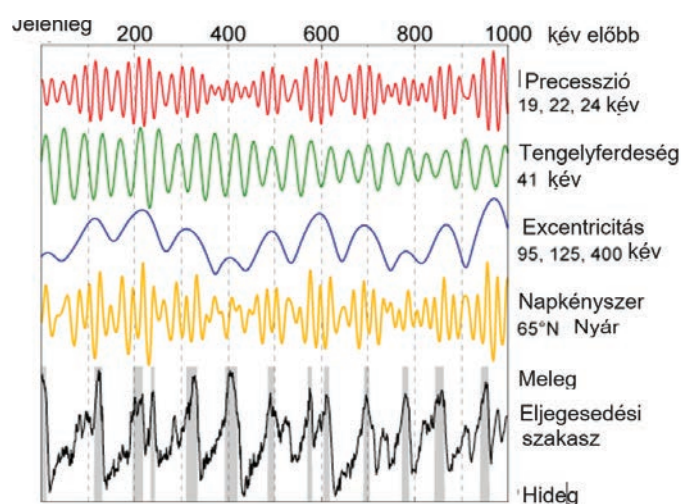
Tengelyferdeség

A Föld tengelyirányú dőlésszöge a pályasíkhhoz képest (az ekliptika ferdesége) 22,1° és 24,5° között változik, körülbelül 41 000 éves ciklus alatt. A jelenlegi dőlésszög 23,44°, nagyjából félúton a szélső értékek között. A dőlés utoljára i. e. 8700-ban érte el maximumát, ami korrelál a holocén kezdetével, a jelenlegi geológiai korszakkal. Jelenleg ciklusának csökkenő szakaszában van, és i.sz. 11 800 körül éri el minimumát. A dőléscsökkenés jelenlegi tendenciája általános hűtési trendet hoz és csökkenése elősegítheti az interglaciális időszak végét (és általánosságban hűvösebb éghajlat), valamint a jégkorszak kezdetét.

Orbitális dőlésszög

A Föld pályájának dőlése fel-le sodródik jelenlegi pályájához képest. Ezt a háromdimenziós mozgást „az ekliptika precessziójának” vagy „bolygóprecessziójának” nevezik.

Milankovitch nem tanulmányozta a planetáris precessziót. A közelmúltban fedezték fel, és a Föld keringési pályájához viszonyítva körülbelül 70 000 éves időtartamot mértek. A Föld pályájától függetlenül, de a változhatatlan síkhoz viszonyítva mérve azonban a precesszió körülbelül 100 000 éves periódusú. Ez az időszak emlékeztet a 100 000 éves excentricitási periódusra. Mindkét időszak szorosan hasonlít a jégkorszak 100 000 éves periódusaira [12].



8. ábra. A Milankovics ciklusok 100000 éves szakaszokban [12]

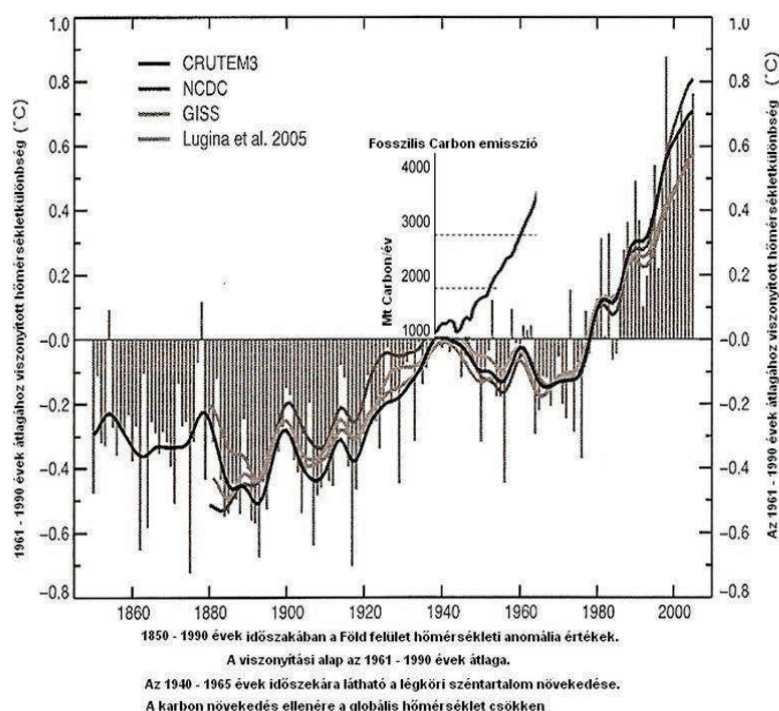
A széndioxid

A légkör globális felmelegedéséért a különböző kutatások és szervezetek jelentős mértékben az ipar, a közlekedés és az energetikában felhasznált fosszilis tüzelőanyagokból származó szén-dioxidot okolják. A fosszilis tüzelésű erőművekből, bár nem látható, de kétségtelenül fajlagosan nagyobb mennyiségű a szén-dioxid kibocsátás, ez tény. A szén azonban nem szennyezőanyag, az élet alapját szolgáló szén-ciklus része. Szerepéről egyre világosabb képet kapunk. A klímaváltozással kapcsolatosan előtérbe a „globális” felmelegedés került, amely egyesek szerint elsősorban az emberi tevékenység (az ún. üvegházgázok, különösen a szén-dioxid) következtében ért el jelentős mértéket. A szén-dioxid kitüntetett szerepét a fizikai-kémia törvényeivel elég jó számíthatóságának köszönheti, mert az egyéb tényezők hatásának számítása még inkább bizonytalan. A légköri paraméterek közül globális mértékben leginkább a szén-dioxidkoncentráció határozható meg (talán ezért választották a felmelegedés indoklásának legfontosabb tényezőjévé).

A földfelszínre energetikai egyensúlyt felírni a hőkapacitások és a felületi változások miatt nagyon bonyolult, és sok hibalehetőséget rejt magában, egyesek szerint elméletileg is hibás. A mérésekkel is leginkább ellenőrizhető a légkör felső határa, mert ott a megbízhatóságosan mérhető jellemző, a napállandó áll rendelkezésre. Viszonylag nagy pontossággal ismeretesek a CO₂-koncentráció és a gáz fizikai jellemzői. A Nap sugárzása egy 5800 K hőmérsékletű fekete test sugárzásaként tárgyalható.

A karbon-ciklus leglényegesebb szakaszát az élővilágban találjuk. A szén mind a növényi, mind az állati és emberi test tömegének meghatározó része. A karbon a környezetben nem szennyezőanyag, hanem az életfolyamatok mindegyikének szerves része. A következőkben időrendben áttekintjük az eddig elfogadott tényeken alapuló kutatások alapján található problémákat, amelyek a szén-dioxid és a globálisnak nevezett hőmérséklet kapcsolatában szingularitásokat mutatva nem csak a korrelációt, de az ok-okozati összefüggést is cáfolják. A Föld éghajlatában a víz és a légkör kölcsönhatásában jelentős szerepet játszik a tömegük aránya és a hőkapacitásuk közötti óriási különbség.

Nyilvánvalóan az üvegházhatású gázok egyre növekvő kibocsátása szerepet játszik a légköri hőmérsékletváltozásban, de a hatások inkább csak ingadozásokat okozhatnak az éghajlatban, a



9. ábra. A szén-dioxid és a globális hőmérséklet változásának jellege [5]

nagy léptékű változásokért a Föld természetes folyamatai a felelősek.

Nem lehet korrelációról beszélni a légköri szén-dioxidtartalom és a globális hőmérséklet között. Hosszabb időszakokra is lehet példát találni ennek ellenkezőjére. Ilyen például az 1940-1970 közötti és az 1997-2014 közötti időszak is. A legmegbízhatóbb mérési adatok alapján is az 1997. évtől kezdődően 2014-ig a globális felmelegedés kb. másfél évtizedre stagnálást mutatott. Tehát az utóbbi száz év közel fele nem igazolja a szén-dioxid változás és a globális hőmérsékletváltozás szoros kapcsolatát.

A jelenleg használt modellek bonyolultsága sok hibát rejt magában. Ezért vizsgáltam meg, hogy egyszerűbb számításokkal milyen eredményt lehet elérni. Az alapelv az, hogy a légkör határán kell hosszú távon sugárzási (energetikai) egyensúlynak lennie.

Négy egyszerű számítással vizsgáltam meg a szén-dioxid hatását a Föld globális hőmérsékletére. 1. Módszer. Az iparosodás óta nemzetközileg elfogadott adatokkal végezzük a számítást. A légkör határán feltételezett egyensúlyi egyenletből ezen időszakra a CO₂-koncentráció növekedése hatása egyszerűen számítható. 2. Módszer. A beeső sugárzásnak a különböző rétegeken való átáramlása során annak gyengülés képletével. 3. Módszer. A légkör relatív emisszióképességének képletét közvetlenül is lehet közelítőleg alkalmazni. A hatás kétszer érvényesül. 4. Harvard módszer. E szerint (Jacob, 1999) a légkörben az üvegházgázok növekedése miatt fellépő sugárzási kényszer változásával számítják a hőmérsékleti hatást. A számítások eredménye szerint a CO₂-nek 280 ppm-ről 600 ppm-re növekedésekor 1,57; 1,83; 2,2 és 1,3 °C növekedés lesz és azt mutatják, hogy McChristy eredményéhez hasonlóan az átlagra kb. 1,67 °C értéket kapunk az elkövetkezendő évszázadra.

Összefoglalás

A globális hőmérsékletnek a szén-dioxid koncentráció változására alapuló klímaváltozási narratíva kudarca után gondolkodni kell egy az emberiség számára hasznos klíma narratíva lehetőségén.

Én továbbra is csak a hideg-meleg időszakok és az utolsó 10 000 éves szakasz váltakozásának elemzésére koncentrálok. A régmúlttól kezdve azt látjuk, hogy a mai napig rövidebb-hosszabb ciklusos hideg-meleg időszakok váltják egymást míg a szén-dioxid változásban ilyen ciklikusság nem mindig fedezhető fel. Felmerül, hogy a hőmérséklet változása vonja maga után a CO₂ változását. A jelen időszakban legjelentősebb számunkra a globális trendek és az utóbbi 10 000 éves cikluson belüli ciklusok elemzése. Jelenleg egy interglaciális utolsó felmelegedési időszakában vagyunk. Ez után globálisan egy lehűlési folyamat várható. A jelenlegi interglaciális utolsó 10 000 éves szakaszt elemezve azt látjuk, hogy ezt hasonló, kilenc 10 000 éves szakasz előzte meg. Ez alapot adhat a jövőre való felkészülésre, alkalmazkodásra. A nagy régiókban való felkészülési feladatokat a régióban található nagy természeti folyamatok határozzák meg. A jelenben pedig az éves ciklusokban a meteorológusok időjárás-jóslatai a mérvadók. Már nem csak a hideg-melegre, hanem a klíma egyéb paramétereire is nagyon jó jóslatokat tudnak adni. A szén-dioxid növekedés pedig dokumentáltan a termés növekedést segíti.

Új narratíva a trend, a ciklusos jelleg és régió meghatározó természeti folyamatai alapján az alkalmazkodás.

Irodalomjegyzék

- [1] Samuel Furfari: „Energia-bizonytalanság, az EU versenyképességének tudatos szétverése” címmel előadás, 2024. 11. 28
- [2] Richard Lindzen: „Klímavészhelyzet: miért hibás e narratíva csaknem minden vonatkozása” címmel előadás, 2025. 01. 29-én
- [3] Reményi Károly: Tézisek és szintézis, mint a globális hőmérsékletváltozás kutatás eredménye, Energiagazdálkodás, 2024. 5-6.
- [4] Phanerozoic https://hu.m.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:Phanerozoic_Climate_Change.png
- [5] Reményi Károly: Gondolatok a globális hőmérsékletéről, Energiagazdálkodás, 2016. 3-4.
- [6] Analysis: Is it actually hotter now than any time in the last, <https://www.pbs.org/newshour/science/analysis-is-...Jul29,2023>
- [7] Sunspots/Solar Cycle - Space Weather Prediction Center National Oceanic and Atmospheric Administration (.gov) <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/sunspotssolar...>
- [8] El Niño and La Niña Years and Intensities Golden Gate Weather Services <https://ggweather.com/enso/oni>
- [9] What are El Nino and La Nina? National Oceanic and Atmospheric Administration (.gov) <https://oceanservice.noaa.gov/facts/ninonina>
- [10] What Is the Gulf Stream? | NOAA SciJinks – All About Weather NOAA SciJinks <https://scijinks.gov/gulf-stream>
- [11] Clouds Wikipedia <https://en.wikipedia.org/wiki/Cloud>
- [12] Milankovitch cycles; Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Milankovitch_cycles

A szén-dioxid kvóta szabályozás és kereskedelem

Szilágyi Zsombor

c. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, drszilagyzsombor@freemail.hu

A szén-dioxidot tekintjük ma a klímaváltozás első számú okának, azért is, mert ennek jelentős része az emberi tevékenység következménye, és éppen az ember tehet a legtöbbet a csökkentése érdekében. Az Európai Unió élen jár a szén-dioxid kibocsátás szabályozásában, a kibocsátási kvóta rendszer alkalmazása eredményes. Ennek a rendszernek a tartalmát és célkitűzéseit tekintjük át cikkünkben.

*

Carbon dioxide is considered the number one cause of climate change today, also because a significant part of it is the result of human activity, and it is precisely humans who can do the most to reduce it. The European Union is at the forefront of regulating carbon dioxide emissions, and the application of the emission quota system is effective. Paper will review the content and objectives of this system.

A földi klímaváltozás következményei a legtöbb országban megfigyelhetők: az átlaghőmérséklet emelkedése, extrém időjárási jelenségek. A gleccserek visszahúzódnak, csökken a Föld édesvíz készlete. Nő a tengerek hőmérséklete is, a tengerek szintje emelkedik, a tengerek szárazföldeket foglalnak el.

Napjaink legjelentősebb globális problémái: extrém időjárási jelenségek, vízhiány, élelmiszerhiány, túlnépesedés és népvándorlás – összefüggésben vannak a klímaváltozással, a Föld átlaghőmérséklete emelkedésével. Hazánkban is megfigyelhetjük a légkör hőmérsékletének emelkedését. Némi hullámmással értük el a 2024. évi szintet (1. táblázat).

1. táblázat. Magyarország éves átlag hőmérséklete [2]

Év	2010	2015	2020	2021	2022	2023	2024
°C	10,2	11,7	11,5	10,8	11,8	12,2	12,9

Az éves átlag hőmérséklet volatilitása a Föld többi országában is megjelenik, de tartós tendencia a légkör hőmérsékletének emelkedése.

A táblázat adataihoz megjegyezzük, hogy ma még felmérni sem lehet, hogy például 2050-ig további 0,5 °C átlag hőmérséklet emelkedésnek milyen hatása lehet. Azt már tudjuk, hogy 1900-tól napjainkig a 2 °C emelkedés mit eredményezett. Valószínűsíthető, hogy a további üvegházgáz kibocsátás emelkedése életünk olyan területeit fogja károsan befolyásolni, amire eddig nem is gondoltunk.

Üvegházhatást fokozó gázok kibocsátása

A klímaváltozás fő okának a légkörbe kerülő üvegházhatású (ÜHG) gázokat tekintjük. Ezek: szén-dioxid, metán, dinitrogén-oxid (N₂O), ózon, halogénezett és fluorozott szénhidrogének. Jelentős üvegházhatása van a levegőben jelenlévő vízgőznek is természetesen.

A Föld országaiban a légkör szén-dioxid tartalma azonos tengerszint feletti magasságban közel azonos, a Föld forgása és a légmozgások miatt. A légkör szén-dioxid tartalma az év során változik: a legmagasabb érték május-július időszakban mérhető.

A légkör átlagos szén-dioxid tartalma 1900 körül 280 ppm volt, 1958-ban még 310 ppm volt, 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. 2020 átlaga 413,94 ppm volt. A légkör szén-dioxid tartalmát 2024. áprilisban 426,30 ppm értékre mérték. A brit meteorológiai szolgálat 2025-re 426,9 ppm szint elérését becsüli.

A légkörbe kerülő szén-dioxid fő forrásai:

- az ipar, különösen a hőfejlesztéssel járó gyártások.
- a fűtés, beleértve a távfűtést is
- a közlekedés, ezen belül a szénhidrogén hajtású közúti, vasúti, légi járművek
- a mezőgazdasági növénytermelésnek az a része, amely szerves anyagokat használ fel a talaj tápanyag utánpótlására
- az állattenyésztés: minden állat szén-dioxidot lélegzik ki
- az ember, aki szintén szén-dioxidot lélegzik ki

A Föld felszíne alatt állandóan keletkeznek különböző gázok, például metán és szén-dioxid is, ezek a gázok részben kilépnek a légkörbe. A vulkánok gáz kibocsátása időszakonként lényeges megnöveli a légkör szén-dioxid tartalmát. Ma még a világ minden térségében a keletkező hulladékok jelentős részét lerakják, és a hulladék depók kellően nem takart felületén szén-dioxid lép a légkörbe.

A légkörbe kerülő szén-dioxid 50-200 évig nem bomlik el. Szerencsére a csapadék kimossa a szén-dioxid nagyobb részét, de a szénsavassá váló csapadék szennyezi a talajt és az élővizeket is. A másodlagos szén-dioxid kibocsátásban a talaj és a tengerek is jelentős szerepet töltenek be.

A növények képesek a levegő szén-dioxidját megkötni, az abból kivont szén a szervezetükbe beépíteni. Ez a folyamat az asszimiláció. Ha a növény, vagy egyes részei a természetben porladnak el, akkor a megkötött szén a talajba kerül, vagy ismét szén-dioxiddá oxidálva a légkörbe. A levegőtől elzárt helyre kerülő szerves hulladékban a bomlás során metán keletkezik. Összességében a növényzet gyérítése árt a légkörnek. A világ szén-dioxid kibocsátásának növekedése szorosan összefügg a fosszilis tüzelőanyagok használatának változásával.

Az ÜHG kibocsátás változása lényegesen különböző a világ térségeiben (2. táblázat) és a jelentős kibocsátó országokat mutatja a 3. táblázat.

A világ ÜHG kibocsátásának növekedése lényegesen meghaladja az EU-ban elért megtakarítást.

A legjelentősebb kibocsátó országok nem tagjai az Európai Uniónak. Kína, az USA és India ÜHG kibocsátása több, mint az

2. táblázat. ÜHG kibocsátás (millió tonna CO₂ egyenérték), [1]

	2015	2020	2021	2022	2023
Világ	37423	37188	39071	39588	40417
EU	3165	2686	2876	2844	2656
Magyarország	45,6	47	48,2	45,2	41,2

3. táblázat. A legjelentősebb ÜHG kibocsátó országok (millió tonna CO₂ egyenérték), [1]

	2015	2020	2023
Kína	10372	11489	12603
USA	5415	4912	5130
India	2325	2454	3121
Oroszország	2029	2015	2176
Japán	1254	1075	1038

Európai Unió tagállamaié. Ennek tükrében lehet vizsgálni az EU célkitűzéseit és eredményeit a kibocsátás csökkentésére.

A levegő védelmét szolgáló műszaki megoldások próbáinak sorát éljük napjainkban. Minden kétséget kizáróan megállapíthatjuk, hogy a kevesebb energiafelhasználás csökkenti a légköri kibocsátást. A lakások, épületek hőszigetelése, az energiatermelés, mindenekelőtt a fűtés korszerűsítés biztosan csökkenti a levegőbe kerülő CO₂ mennyiségét. A háztartási és kommunális hulladék szelektív gyűjtése és részleges újra hasznosítása szintén a levegő védelmét szolgálja.

A nemzetközi szervezetek már az 1990-es években egyre többször foglalkoztak a légkör védelmével. 1997. decemberben jött létre az ENSZ Éghajlatvédelmi Keretegyezmény, amit röviden Kiotói Jegyzőkönyvnek szoktunk hívni. A jegyzőkönyvben az aláíró országok vállalták, hogy 2008. és 2012. között az üvegház hatású gázok (ÜHG) kibocsátását általuk meghatározott ütemben csökkentik az 1990-es szint alá. A jegyzőkönyv hatályba lépett, mert legalább 55 ország aláírta, amely országok a világ ÜHG kibocsátásának több, mint 55%-át képviselték. Az USA 2001-ig mérlegelte a jegyzőkönyv aláírását, de 2001. márciusában bejelentette, hogy nem vesz részt ebben a programban. Biden elnök viszont 2020-ban bejelentette, hogy az USA mégis csatlakozik a kiotói egyezményhez.

Az ENSZ Éghajlat-változási Kormányközi Testülete (IPCC) arra figyelmeztet, hogy a globális felmelegedés 1,5 Celsius fokban való korlátozásához legkésőbb 2050-re el kell érni a szén-dioxid nettó nulla kibocsátását, vagyis a kibocsátás és a megkötés egyensúlyát.

Kibocsátás szabályozás

Az EU 2003-ban indította az ÜHG kibocsátás szabályozását és a kibocsátás kvóta kereskedelmét.

Az uniós kibocsátási, kereskedelmi rendszer céljai:

- az induló célkitűzés: a 2005. évi kibocsátás csökkentése 55%-kal 2030-ig
- a Párizsi Megállapodás szerinti kötelezettségvállalások teljesítése az EU országaiban
- létre kell hoznia kibocsátási kvóták kereskedelmének rendszerét
- a kibocsátás szabályozásának rendszeres felülvizsgálata és módosítása. A legutóbbi módosításokat az (EU) 2023/958 számú irányelve tartalmazza. Az induló kibocsátás csökkentési célt megemelték: a 2005. évi szinthez képest 62%-ot érjünk el 2030-ig.

A kibocsátás szabályozási rendszerbe bevont gazdasági ágazatok:

- erőművek
- energiaigényes ipari ágazatok
- az EU területén a közúti, vasúti és légi közlekedés
- 2024-től a tengeri közlekedés

Nem lehet bevonni a kvóta szabályozásba:

- a mezőgazdasági növénytermesztést, az állattenyésztést, a háztartásokat

A szabályozott kibocsátási rendszer ingyenes kvóták kiosztásával indult.

Az EU az ETS sikereként könyveli el, hogy az egy főre jutó kibocsátást lényegesen nagyobb mértékben csökkentette, mint a világ többi térsége. Az USA a 2009-es Waxman-Markey törvényjavaslattal próbálta meg bevezetni az országos léptékű kibocsátáskereskedelmi rendszert, de a kezdeményezés még korai szakaszban kimúlt. 2022-ben a Biden adminisztráció alternatív kibocsátás csökkentési intézkedésként vezette be az inflációcsökkentési törvényt (IRA), ez pénzügyi támogatást nyújtott az energiaátmenet szempontjából fontos ágazatok kibocsátás csökkentéséhez. Donald Trump jelentősen visszafogta az amerikai klímavédelmi akciókat. A szén-dioxid kibocsátás csökkentési akciók visszafogásának fő oka az, hogy az ipari ágazatok jelentős része kötődik a fosszilis energiahordozókhoz. Éppen Trump elnök támogatta a legintenzívebben a nem hagyományos szénhidrogén kutatást és kitermelést.

Az EU új, különálló kibocsátáskereskedelmi rendszert hozott létre az épületekre, a közúti közlekedésre és az üzemanyag felhasználásra vonatkozóan.

A kibocsátási egységek:

- egy tonna CO₂ egyenértékű kibocsátás;
- a szabályozás alá tartozó tevékenységet folytató üzemeltetőnek minden évben annyi kibocsátási egységgel kell rendelkezni, mint amennyit az előző évben teljesített;
- az EU által kiadott kibocsátási egységek száma minden évben fokozatosan csökken: 2013 és 2020 között 1,74%-kal, 2021 és 2023 között 2,2%-kal, 2024 és 2027 között 4,3%-kal, 2028-tól pedig évente 4,4%-kal;
- az ingyenes kibocsátási egységek 2034-ig fokozatosan megszűnnek.

Az EU tagállamainak szerepe:

Az ETS-nek nevezett kibocsátás-kereskedelmi rendszer fejlesztésére az EU célul tűzte ki 2027-től a szabályozás kiterjesztését a közúti közlekedésre és az épületekre. Ezt a kiegészítést ETS2-nek nevezik. Ez a szabályozás azokra a cégekre vonatkozik, amelyeknek jövedéki adót kell fizetniük az energia után (például adóraktárak, üzemanyag beszállítók), de nem érinti az üzemanyag végfelhasználókat. Az ETS2 rendszerben a kötelezetteknek kell az általuk forgalomba bocsátott üzemanyag mennyiségével meg egyező mennyiségű hitelesített kibocsátási egységet árverésre bocsátani. Az ETS2 keretében kiadott kibocsátási egységek száma évről évre csökkenni fog 2028. után évi 5,38%-kal.

Az EU tagállamok feladatai:

- az EU irányelveit a hazai jogrendbe beépíteni;
- kiadják a kibocsátási egységeket;
- gondoskodnak arról, hogy a kvóta szabályozás alatt álló cégek nyomon kövessék kibocsátásukat, évente jelentést

készítsenek róla, amely jelentést erre hivatott szervezet hitelesítsen;

- árverésre kerüljenek azok a kibocsátási egységek, amelyek nem ingyenes átadással kerültek a kibocsátóhoz;
- meghatározzák a kibocsátási kötelezettségből megtakarított kibocsátás árverési bevétele felhasználását;
- szabálytalan eljárásokat büntessék.

A kibocsátási egységeknél elért megtakarítások országon belül árverésre kerülhetnek, vagy nemzetközi tőzsdén értékesíthetők.

Az EU rendszerben a tagállam szervei kezelik az ország fő szén-dioxid kibocsátó cégek (engedélyesek) kvótáit. Ha az érintett cég a kiszabott kvótát túllépi, akkor pénzügyi szankcióval büntetik: a 2005-2007 időszakban a bírság 40 Euró/tonna volt, a 2008-2012 években már 100 Euró/t. A kiosztott, de igénybe nem vett kvótákat a meghatalmazott állami szerv értékesítette a lipcsei Európai Energia-tőzsdén (EEX). Például a magyar Nemzeti Fejlesztési Minisztérium 2012. decemberben 1,25 millió tonna kvótát értékesített 6,63 Euró/tonna áron. Azok a cégek, amelyek nem tudják az engedélyezett kvótával lefedni a kibocsátásukat, ugyanezen a tőzsdén, vagy másik engedélyestől vásárolhatnak szabad kontingenst.

Ma a szabályozás alatt álló iparágakban a kvóta kötelezettség csak meghatározott gyártási kapacitás vagy a hőtermelő berendezések teljesítménye felett áll fenn. Például:

- vas vagy acél termelése 2,5 tonna/óra kapacitás felett;
- vas- és színesfémek feldolgozása 20 MW feletti technológiai berendezések esetén;
- cement vagy mészgártás 50 tonna/nap kapacitás felett;
- téglá, tetőcserép gyártás 75 tonna/nap felett;
- papírgyártás 20 tonna/nap kapacitás felett.

A kvóta szabályozás alatt álló cégek többsége tudja teljesíteni a kibocsátás csökkentést az elvárt szinten, általában cégen belüli szabályozásokkal, beruházásokkal. A szabályozás teljesítéséhez tartozó többlet költségek megjelennek a cég termékei árában, és ezzel az inflációt növelik.

A kvóta szabályozás további, tervezett módosítása tekintettel lesz arra is, hogy a kvótákkal erősen lehatárolt vállalkozások ne kerüljenek a külföldön hátrányba azért, mert ezen a piacon az EU-n kívüli országokból származó, versenyző termékek is vannak. Ezeket a cégeket növelt térítésmentes kibocsátási kvótával kompenzálják.

Hazánkban a Nemzeti Klímavédelmi Hatóság feladata az ETS rendszer hatálya alatt üzemelő cégek, vállalkozások felügyelete, a szükséges intézkedések megtétele, a térítésmentes kibocsátási egységek kezelése. A kibocsátási szabályozás alatt álló cégek éves jelentését független akkreditált hitelesítő szervezet ellenőrzi, és ezután nyújtják be a Nemzeti Klímavédelmi Hatóságnak, évente március 31-ig.

A kvóta kötelezett vállalkozásnak évente 30-400 ezer forint összegű, ún. számlavezetési díjat kell fizetni, az állam ellenőrző szervezetének.

Magyarországon a cégek az ETS rendszer induláskor 30 millió tonna térítésmentes kvótát kaptak. Az új belépő vállalkozások részére 633 218 tonna emisszió tartalékot képeztek. Meghatároztak 791 ezer tonnás kontingenst is, a térítésköteles kiosztásra.

Induláskor Magyarországon 229 létesítmény kapott kvótát. Idő közben több vállalkozás megszűnt, átalakult, és újak is létrejöttek. Ma 176 vállalkozás kötelezett a kvóta betartására. A 176 kvóta kötelezett vállalkozás közül 120 jelentős tüzelőanyag égető cég és ezek a cégek kapják a csökkentett ingyenes kvóta meny-

nyiség 70%-ot. Ugyanezek a cégek jelennek meg a kvóta tőzsdén vásárlóként, eladóként is. A kvóta kötelezett társaságok adhatnak-vehetnek kvótát a kvótára nem kötelezett cégektől is, külföldről is.

A lipcsei EEX tőzsdén élénk szén-dioxid kvóta kereskedés folyik. A kezdeti kvóta árak:

2012-2018 között: 10 Euro/tonna alatt, 2019-ben 25 Euro/tonna körül, 2020-ba 30 Euro/tonna nagyságrend volt. 2025 márciusban az ár 65...70 Euro/tonna, a napi tőzsdei forgalom 10...90 ezer tonna.

A BP elkészítette prognózisát a világ szén-dioxid kibocsátásáról is [3]. A prognózist három változatban adták ki (4. táblázat):

- rapid változat: a kibocsátás csökkentésre tett intézkedések reális gazdasági erőfeszítésekkel;
- net zero változat: a kibocsátás csökkentést rendkívüli erőfeszítésekkel teljesíti a Föld lakossága;
- business-as-usual (BAU): minimális erőfeszítésekkel elérhető kibocsátás csökkenés.

A rapid változatot tekinthetjük valós jövőnek.

4. táblázat. Szén-dioxid kibocsátás a világon (Gt CO₂) [3]

	1980	1990	2000	2010	2020	2030	2040	2050
rapid	18,5	22,2	25	31,1	34,3	30	14,6	9,8
net zero						26	8,5	2
BAU						34	32	30

Felhasznált irodalom:

- [1] Energy Institute: Statistical Review of World Energy 2024|73rd edition
- [2] <https://www.ksh.hu>
- [3] BP Energy Outlook 2024 edition

Lakossági távhőpályázat

A program a támogatásra jogosult mintegy 410 ezer háztartás közel fele számára teremt lehetőséget korszerű mérési rendszerek kialakítására, saját forrás igénybevétele nélkül. A pályázat távolról leolvasható fűtési költségmegosztó eszközök beszerzéséhez és felszereléséhez, a meglévő készülékek cseréjéhez, távolról leolvashatóvá konfigurálásához biztosít állami hozzájárulást. A távhővel ellátott lakóépületek a rendszerhez szükséges adatgyűjtők telepítéséhez is igényelhetnek vissza nem térítendő forrást. Választható elemként támogatható még a termosztatikus radiátorszelepek és alsó elzáró szerelvények felszerelése.

Az ötmillió forint teljes keretösszege egy pályázó legkevesebb 100 ezer forint és legfeljebb 120 millió forint támogatást igényelhet. A kérelmeket a területi szempontok figyelembevétele nélkül, beküldésük idősorrendjében bírálják el. A támogatott fejlesztések megvalósításának legkésőbbi határideje 2026 vége.

A pályázati, a szolgáltatói és termékregisztrációs felhívások a pályázatkezelő honlapján érhetők el. Szolgáltatói regisztrációra irányuló kérelem 2026 végéig nyújtható be. A társasházak, lakásszövetkezetek pályázatait 2025. június 30-án 10 órától a rendelkezésre álló keretösszeg 120 százalékának eléréséig, de legkésőbb 2026. június 30-ig várják.

A vissza nem térítendő forrással támogatott fejlesztések nem terhelik meg a családok pénztárcáját. A lakók a jövőben nem a légköbméterrel vagy az alapterülettel arányosan, hanem tényleges felhasználásuk alapján fizetnek a távfűtésért. A szabályozhatóság és a folyamatos nyomon követhető adatok tudatosabb fogyasztást tesznek lehetővé, ami a rezsikiadások csökkenéséhez vezethet.

Forrás: Energiaügyi Minisztérium

A cseppfolyós földgáz jövője

Szilágyi Zsombor

c. egyetemi docens, Miskolci Egyetem, drszilagyizsombor@freemail.hu

A világ energia igénye folyamatosan nő, mert nő az életszínvonal és nő a Föld népessége is. A többlet energia igényeket ma még főleg fosszilis energiahordozókkal (kőolaj, szén, földgáz) elégítjük ki, mert az alternatív energiahordozók termelése általában drága és kis hatékonyságú. A világ ugyanakkor világosan látja, hogy a légkör védelme a fosszilis használatából eredő szén-dioxid kibocsátástól a közeljövőben már életvédelmi fontosságú lesz. A világ energiahordozó struktúrájának átalakítása nem megy egyik napról a másikra. Az átalakulás néhány éves, évtizedes időszakában a cseppfolyós földgáz egyre nagyobb szerepet kap.

*

The world's energy demand is constantly increasing, because the standard of living is increasing and the population of the Earth is also increasing. Today the surplus energy needs meet with fossil fuels (oil, coal, natural gas), because the production of alternative energy sources is usually expensive and inefficient. At the same time, the world clearly sees that protecting the atmosphere from carbon dioxide emission due to the use of fossil fuels will be important for life protection in the near future. The transformation of the world's energy structure does not happen overnight. In the period of a few years or decades of transformation, liquefied natural gas (LNG) is playing an increasingly important role.

A földgáz főleg éghető nyílt szénláncú szénhidrogénekből áll. Legnagyobb részben metánt tartalmaz, de etán, propán és bután is alkotó eleme. A földgáz tartalmazhat inert gázokat (szén-dioxid, nitrogén) is. Azt mondhatjuk, hogy minden földgáz lelőhelyről eltérő összetételű földgázt termelnek ki. Magyarországon is az egyes településeken nem azonos összetételű földgázt szolgáltatnak, de egy településen az év során tartják az azonos égéshő és Wobbe szám értéket (esetleg változó összetétel mellett is). A földgáz sokoldalúan felhasználható: fűtési energiahordozó, a villamos áram termelés nélkülözhetetlen alapanyaga, a vegyipar is sokféle műanyag gyártásánál használja. Elindult a földgáz karrierje a közlekedésben is, a pégégő alkalmazása után terjed a sűrített földgáz (CNG) használata is járművek hajtására.

Cseppfolyósítás, tárolás és szállítás

Ismerkedjünk meg a cseppfolyós földgázzal (LNG). A gázok cseppfolyósításával a 19. században Michael Faraday foglalkozott először Nagy-Britanniában. Az első kísérletek levegő, oxigén, nitrogén cseppfolyósítással indultak, de a kifejlesztett cseppfolyósítási technológia alkalmas a metán cseppfolyósításra is. Az ipari léptékű cseppfolyós földgáz forgalmazás az Algériában 1964-ben megépített tengerparti LNG terminállal indult el. Ma már a világ földgáz fogyasztásában több, mint 10%-ban van jelen az LNG.

Az LNG cseppfolyós halmazállapotú, a víznél kisebb sűrűségű ($430\text{--}470\text{ kg/m}^3$), tiszta, színtelen, szagtalan, kémiaiilag passzív anyag. A folyékony földgáz forrása atmoszferikus nyomáson

$-161\text{ }^\circ\text{C}$ és többnyire ebben az állapotban, 0,5 bar túlnyomáson tárolják. Elpárologtatással 1 m^3 cseppfolyós LNG-ből kb. 600 m^3 fizikai normálállapotú gáz keletkezik. 1 tonna LNG elpárologtatásával kb. 1400 m^3 gáz nyerhető [1].

A földgáz megfelelő előkészítésével „négykilences” tisztaságú metánt, etánt is elő lehet állítani, és cseppfolyós állapotban ezek a komponensek nagyon értékes vegyipari alapanyagok. Az LNG előállítás technológia első, és egyben talán legfontosabb lépése a földgáz cseppfolyósításának előkészítése, a gáz tisztítása. Le kell választani a mechanikai szennyeződések (homok, rozsdá), a víztartalmat, a könnyen cseppfolyósuló szénhidrogéneket (hosszabb szénláncú vagy zárt szénláncú szénhidrogének), a higanyt (közel-keleti gázforrásokban előfordul), a kén származékokat és a szén-dioxidot. A gázt ezt követően komprimálják, hűtik, majd expandáltatják legalább három fokozatban.

Az LNG előállításánál, tárolásánál, szállításánál alapvetően a cseppfolyós oxigén, nitrogén, hélium esetén alkalmazott technikát alakították át a földgázok cseppfolyósításához. A technológia különlegessége a rendkívül alacsony hőmérséklet. Fontos feltétel, hogy zsír-, víz- és olajmentes legyen minden eszköz, szerelés. Az egyik legfontosabb eleme a rendszernek az LNG tároló tartály, ami saválló acél ötvözetből készül (általában 9% Ni tartalommal), sokféle alakban és méretben, hagyományos vagy vákuum szigeteléssel. A tartály mechanikai védelmét egy külső vasbeton vagy acél burkolat adja. A tartályban jellemzően alacsony túlnyomás uralkodik (0,5 bar), melynek tartásához saját elpárologtató rendszer kerül beépítésre. Az elpárologtató rendszeren keresztül távozó gáz szállító hajó vagy nehéz tehergépjármű hajtására használható, azaz a veszteség minimalizálható. A védelmet kettő, egymástól függetlenül működő biztonsági lefúvató szelep látja el. További kritikus elem a technológiai láncban a már folyékony halmazállapotú LNG-t szállító centrifugál szivattyú, mely szintén speciális acél ötvözetből készül, fém tömítésekkel. Meghajtása jellemzően robbanás biztos kivitelű villanymotorral történik. A szivattyút üzembe helyezés előtt elő kell hűteni legalább $-100\text{ }^\circ\text{C}$ -ra a szerkezeti károsodások elkerülése érdekében. A csővezetékek és beépített szerelvények anyagára a már a tartálynál megismert követelmények vonatkoznak, és általában 30 bar túlnyomásra méretezik, függetlenül attól, hogy a technológia csak minimális üzemi túlnyomást enged meg. A vezetékeket is hőszigetelni kell, itt is a vákuum szigetelés mutatkozik a leghatékonyabbnak. Különösen fontos a dilatáció kezelése, hiszen viszonylag magas hőmérséklet különbséggel kell számolni. A szerelvények kötéséhez trapézmenetet használnak, teflon vagy fém tömítőanyag alkalmazható. Fontos kitétel, hogy kiszakaszolható, lezárható szakaszban nem lehet folyadék fázis. A technológia kiadási pontján általában ellenáramú vizes hőcserélőt alkalmaznak a visszagázosításhoz, melyhez a szükséges hőenergiát a fogadó tengerparti terminálknál a tengervíz biztosítja.

Jelenleg 18 ország exportál LNG-t. A világban a 2023. évi LNG forgalom $549,2$ milliárd m^3 volt [1]. Jelenleg a Közép-Kelet adta az LNG forgalom 24%-át, de egy sor olyan ország is megjelent az LNG piacán, amelyekről eddig nem hallottunk, például: Malajzia,

Indonézia, Peru, Brunei, Jemen, Vietnam. 2016-ban megérkezett az első cseppfolyós etán szállítmány is Rotterdamba az USA-ból. Oroszország is részesedni akar az LNG üzletből: Távol Keleten és az Északi Tengeren LNG terminálokat üzemeltet és 2023-ban ~42,7 milliárd m³ LNG-t exportált a világban mindenfelé.

Napjainkban az LNG piacon a fő exportőrök (2024-ban, millió tonna): USA 92,9, Ausztrália 83,9 és Quatar 77,4.

A világ LNG fogyasztásának 64 %-a Ázsia országainak igénye. Az európai LNG import 51,8 milliárd m³ volt 2023-ban. Az európai LNG felhasználás gyors növekedésében jelentős szerepe volt a 2022. szeptemberben felrobbantott Északi Áramlat I. és II. vezeték évi mintegy 100 milliárd m³ földgáz szállításának kiesése. Az Egyesült Államok a nem hagyományos földgáz készletek gyors ütemű kutatásával, kitermelésével élre tört a földgáz exportáló országok között. Oroszország vezetékes földgáz exportjának jelentős kiesése (Északi Áramlat vezetékek) az LNG exportra helyezte át a hangsúlyt, és meg is találta azokat a névtelen szállítókat, amelyek az orosz LNG-t eljuttatják a világ minden részébe.

Európában jelenleg is épülnek új LNG terminálok, azok üzembe helyezéséig mobil, úszó terminálok fogadják a szállítmányokat. Hozzáink legközelebb a horvátországi Krk szigetén épült terminál, nemzetközi összefogással. A meglévő szárazföldi csővezeték hálózaton keresztül bennünket is elér a terminálról származó, LNG alapú földgáz.

A földgáz nagynyomású, szárazföldi, vezetékes szállítása felső határát 4000 km-nél szokták meghúzni, mert e távolság felett már több gázt kell felhasználni a szállítóvezeteki kompresszorok hajtására, mint a szállított gáz mennyisége. Ez egyben azt is jelenti, hogy 4000 km-en túl az LNG szállítás már gazdaságosabb. A tengerbe fektetett szállítóvezetékek esetében ezt a határ távolságot 1200 km körül húzzák meg.

Az LNG-t rövid távra, kisebb mennyiségben a cseppfolyós levegőnél alkalmazott eszközökkel lehet szállítani: megfelelően hőszigetelt tartályban, hordóban, tankautóval. Az LNG szállítását nagy mennyiségben és hosszabb távra tankhajókkal végzik. A tankhajóban több tartályban összesen 100–250 ezer m³ folyadék helyezhető el. A tartályt vákuum hőszigeteléssel látják el, azon kívül pedig beton vagy acél héj védi a környezetet az esetleg kilépő gáztól, illetve támasztja a tartályt és a hőszigetelést. A tartályok többsége gömb, de vannak már szögletes tartályok is. A hajók esetében ma 30-40 év élettartammal számolnak. Jelenleg kb. 400 LNG szállító hajó úszik a tengereken, összes szállító kapacitásuk 51 millió m³. A hajók egy-egy útja 4–30 napig tart.

Megépültek és az utakon futnak már az első LNG hajtású teherautók is Európában. A 200–600 liter térfogatú tankjukat ugyanazzal a technológiával gyártják és használják, mint az LNG szállítóhajókat. Üzembe helyezték az első cseppfolyós földgáz (LNG) töltőállomást is Magyarországon, megindulhat az újabb földgáz forma használata a közúti teherszállítás hajtóanyagaként.

Egyre olcsóbbá válik az LNG technológia, rövidebb idő alatt épülnek meg a szükséges létesítmények, nő a szállítóhajók kapacitása és sebessége. A fejlesztések egyik célja az, hogy a szállító hajó alkalmas legyen földgáz cseppfolyósításra is, így azok az országok is exportőrként kapcsolódhatnak a piacra, ahol még nem épült LNG terminál.

Az LNG piac

Az LNG árazására három modellt használnak:

- Olajár indexálás: első sorban Japán, Dél-Korea, Kína hasz-

nálja ezt a modellt. Az árat a fűtőolaj és a gázolaj tőzsdei ára határozza meg.

- Olajár indexálás és másik energiahordozó (szén vagy villamos áram) tőzsdei ára: ez a formula általában Európában divatos.
- Piaci (tőzsdei) ár: a vezetékes földgáz amerikai tőzsdei árához kapcsolják az LNG árat.

Az LNG árat befolyásoló tőzsdei folyamatok mellett az LNG minősége is megjelenik az árban: a gáz összetétele, ebből következően a fűtőértéke, a gáz szennyezőanyag tartalma.

A földgáz piacon kiemelt figyelemmel kísérik az amerikai tőzsdei földgáz árakat. Ezek a tőzsdei árak viszonylag szoros korrelációt mutatnak a kőolaj és az olajtermékek árával, de szezonális hatások megjelennek, és a készletek alakulása is mozditja az árakat. Általában Távol-Keleten rendre drágább az LNG, mint a vezetékes földgáz az USA-ban. Az európai LNG árak közel járnak az európai vezető tőzsdei (TTF, NBP) földgáz árakhoz, hol fölötte, hol alatta jegyzik.

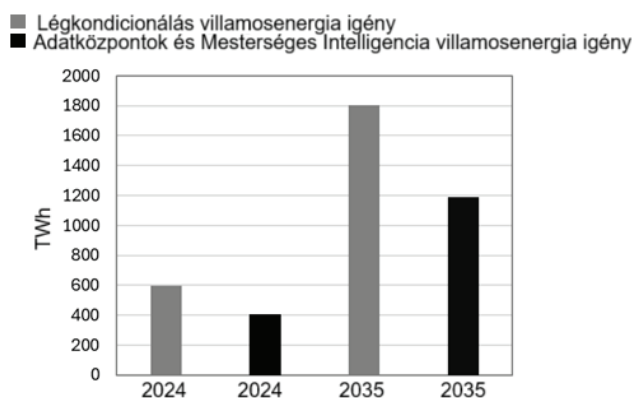
A jellemző LNG árak 2023-ban [1]:

- Japánban 13,22 USD/mmBTU = 45,11 USD/MWh (1 mmBTU=0,2930107MWh)
- Kínában 12,11 USD/mmBTU = 41,33 USD/MWh
- Dél Koreában 14,82 USD/mmBTU = 50,58 USD/MWh

Az ipari léptékű LNG szállítás, tárolás hatalmas energia koncentráció. Az LNG mintegy ötvenéves (ipari léptékű) használata során komoly baleset nem történt. Kisebb ömlések a szárazföldön is és a tengeren is előfordultak, de a kiömlő gáz gyorsan, minden különösebb veszély nélkül távozott a magas légkörbe. Az LNG különleges fizikai jellemzői miatt az előállító, tároló, szállító berendezéseket különös biztonsággal, extra acél anyagokból készítik. A rendszerek szerelvényezése, biztonsági elemei nagyobb mennyiségű gáz szabadba jutását megakadályozzák. LNG termináloknál mindig látnunk állandóan lobogó fáklyát. Ennek éppen az a feladata, hogy a technológiából kilépő, összegyűjtött hulladék gázokat biztonságosan elégesse. Az LNG létesítmények szándékos károsítása elleni védelme állandóan fejlődik, ma azt lehet mondani, hogy a legérzékenyebb katonai létesítmények védelmének szintjén áll.

[1] Energy Institute: Statistical Review of World Energy 2024 | 73nd edition

A légkondicionálás villamosenergia igényének növekedése megfogja haladni az adatközpontok energiaigényét a Nemzetközi Energia Ügynökség szerint.



EN 17956:2024 szabvány bemutatása és hatásainak elemzése¹

Ciceu Dániel

okleveles energetikai mérnök, daniel.ciceu@dynoteq.com

Az energiahatékonysági osztályok és energia címke fogalma nem ismeretlen senki számára, mert a hétköznapi életben mindenki találkozik velük a különböző háztartási készülékeken. 2024-től kezdve az EN 17956 szabvány segítségével az ipari szigetelésteknikában is megjelennek az energiahatékonysági osztályok. A dokumentum célja, hogy a technológiai és hőelosztó rendszerek minél jobban megközelítsék az ökológiai optimumot, ezzel csökkentve az ipar üvegházhatású gáz kibocsátását.

*

The concept of energy efficiency classes and energy labels is not unfamiliar, because in everyday life, everyone encounters them on various household appliances. From 2024, the EN 17956 standard will also introduce energy efficiency classes in industrial insulation technology. The aim of the document is to bring process and heat distribution systems as close as possible to the ecological optimum, thereby reducing industry's greenhouse gas emissions.

Az energiahatékonyság növelése a háztartásokban és az iparban az elmúlt 5 évben megkérdőjelezhetetlenül előtérbe került és ez a végfelhasználók tudatos döntéseire is látszik. A fogyasztók által igényelt energiamennyiséget hatékonyabb eszközökkel és folyamatokban hasznosítják a háztartásoktól kezdve a közintézményeken keresztül az ipari szereplőkig. A lakosság számára az effektívebb berendezések kiválasztásában az energiafogyasztási címkék nyújtanak segítséget. A címkék rangsorolják a készülékeket egy A-G-ig terjedő skálán energiafogyasztásuk alapján. Ennek köszönhetően a fogyasztók tudatos vásárlással pénzt és energiát takaríthatnak meg, emellett a rendszer versenyhelyezetet teremt a piacon, ami arra ösztönzi a gyártókat, hogy minél alacsonyabb energiafelhasználású termékeket tervezzenek és gyártsanak. Az iparban szintén elérhető az energiacímke olyan berendezésekre mint, elektromos motor, szivattyú, ipari ventilátor és transzformátor.

EN 17956:2024 szabvány bemutatása

A szabvány 2024-ben jelent meg lehetőséget teremtve a különböző szigetelő rendszerek energiahatékonysági osztályba sorolására. A besorolási osztályok hasonlóan a háztartási berendezésekhez A-tól G-ig terjednek. Minden olyan rendszer vagy rendszerelem, aminek a fajlagos hővesztesége nagyobb, mint az „F” osztály küszöbértéke „G” osztályba sorolandó.

Szigetelő rendszer alatt a szigetelőanyagot, mint közetgyapot, üvegszál vagy egyéb töltőanyag, a burkolatot, tartószerkezetet és rögzítő elemeket érti a dokumentum. A szabvány segítségével a végfelhasználó könnyedén meg tudja határozni a hőelosztó hálózata és berendezései szigetelési energiaszintjét, ami új technológiai rendszerek tervezésénél és a már meglévő létesítmények esetén is alkalmazható. Meglévő létesítmény esetén az üzemeltetőnek fontos információ, hogy milyen osztályba tartozik a szigetelő rendszere

így, ha az szükséges, akkor az energiahatékonysági intézkedések közé felvehető a gépészeti szigetelés fejlesztése. Új beruházás során, ha a kezdeti fázisban meghatározza a befektető a kívánt energiahatékonysági osztályt, akkor a gépészeti tervezésnél figyelembe lehet venni az energiaszint eléréséhez szükséges referencia szigetelés vastagságot, ami a csővezetékek elrendezésénél helyigény szempontjából rendkívül fontos. A beruházó dolga csak annyi, hogy az általa elvárt energiahatékonysági osztályt meghatározza, ezáltal leegyszerűsítve a tervező és kivitelező munkafolyamatát, mivel a szigetelés vastagsága a tervezés korai fázisában ismertté válik.

Hőszigetelő rendszerek tervezésénél eddig olyan üzemviteli tényezőket vettek figyelembe a mérnökök, mint maximális felületi hőmérséklet vagy maximális megengedhető hőveszteség. Az EN 17956:2024 szabvány egy technológia vagy hőelosztó rendszer hőszigetelését az ökológiai optimum szerint vizsgálja annak érdekében, hogy az erőforrásokat a leghatékonyabban használja fel az ipari termelőegység. Létrehoz egy egységes vizsgálati módszertant, ami alapján a különböző rendszerek összehasonlíthatóvá válnak energiahatékonysági és szigetelésteknikai szempontok alapján, így megkönnyítve a szakmai kommunikációt a beruházók, a tervezők, a kivitelezők és az üzemeltetők között.

A dokumentum a berendezések, szerelvények üzemi hőmérséklete és geometriai adatai alapján meghatározza a számítási metodikát a maximális megengedhető fajlagos hőáramra és az ehhez szükséges referencia szigetelés vastagságára. Az iránymutatás geometriai és hőmérsékleti alkalmazhatósági korlátot tartalmaz. Csővezetékekre, csatornákra, tartályokra és szerelvényekre alkalmazhatók az összefüggések, -30 °C és 650 °C közötti hőmérséklet tartományban. A dokumentum nem terjed ki olyan szempontokra, mint például egészségvédelem vagy felületi kondenzáció elkerülése, valamint nem használható lakossági fűtésrendszerek esetében. Jelen szabvány bemutatásához elengedhetetlen az EN ISO 12241 megemlítése, mivel a berendezések hőveszteségét ennek segítségével lehet kiszámítani.

Szabvány számítási módszertana és elvi háttere

Fajlagos hőveszteség meghatározása

A szabvány külön kezeli a -30 °C -tól 15 °C -ig és 15 °C -tól 650 °C -ig terjedő hőmérséklet-tartományokat, valamint fontos, hogy 15 °C üzemi hőmérsékletre nem lehet energiahatékonysági osztályt meghatározni, mert ez a referencia érték a számítás során. A tartományoknak megfelelően az összefüggések is különböznek, erre kiemelten fontos figyelni.

A geometriai együttható kiszámítása az első lépés az energiahatékonysági osztályhoz tartozó maximális fajlagos hőveszteség meghatározása során. A csővezetékeknél és hengeres testeknél ez az együttható megegyezik az átmérővel, míg a síkfalaknál egy állandó érték. Nagy átmérőjű csővezetékeknél és hengeres testeknél a szabvány a síkfalaknál alkalmazott értékkel számol. Az üzemi koefficiens a közeg hőmérséklete és a geometriai együttható alapján van kimunkálva. Az üzemi együttható és az energiahaté-

¹ A cikk a KLENN '25 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

konysági osztály együttható határozza meg a referencia szigetelés vastagságát. A választott energiaosztály eléréséhez szükséges szigetelés vastagságát egy referencia szigetelés alapján kalkulálja a szabvány. A referencia szigetelésnek 80 kg/m^3 testsűrűségű közetgyapotot határoz meg a dokumentum. A szükséges szigetelés vastagság alapján pedig meghatározható a megengedhető maximális W/m vagy W/m^2 fajlagos hőáram.

Amennyiben a maximális megengedhető fajlagos hőáram ismertté válik a számunkra, úgy ellenőrizhető a szigetelendő felületre az ISO 12241 szabvány alapján egy általunk választott szigetelőanyag, vastagság és átlagos üzemelteti állapot mellett a fajlagos hőáram. Ha kisebb, mint az energiaosztályhoz tartozó hőáram, akkor megfelel a választott szigetelés vastagság, ha nagyobb, akkor növelni kell azt. Ezt addig kell ismételni, amíg nem csökken a fajlagos hőveszteség a megengedhető szint alá. Természetesen a szigetelés vastagság csökkenthető olyan szigetelőanyaggal, aminek kedvezőbb a hővezetési tényezője.

Karimák, szivattyúk és szelepek esetén is alkalmazható a szabvány iránymutatása, tehát szintén besorolhatók energiahatékonysági osztályba. Annyiban egyszerűbb a számítás, hogy szerelvényekhez csatlakozó csővezetékre vagy berendezésre meghatározott szigetelőanyagot és vastagságot kell alkalmazni annak érdekében, hogy ugyanabba az osztályba kerüljenek. Ha praktikus okok miatt különböző anyagot használunk a csővezetékerekre és szerelvényekre, akkor a szigetelés vastagságot úgy kell egyedileg meghatározni, hogy a maximális hőáramot ne lépje túl a vizsgált rendszerelem.

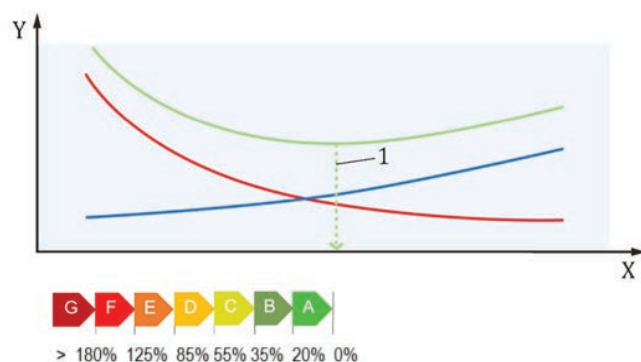
A szabvány tartalmaz a mintaszámítások mellett több táblázatot, ami különböző DN méretű és hőmérsékletű csővezetékerekre határozza meg az energiahatékonysági osztályokhoz tartozó referencia szigetelés vastagságát és fajlagos hőveszteséget. Egy DN 100 méretű és 100°C -os csővezetékerek az „E” energiahatékonysági osztály eléréséhez közel 5 cm, míg az „A” osztályhoz már 15 cm vastag szigetelés szükséges. Ezek az értékek egy DN 50 méretű és 150°C csővezetékerek esetén 4 és 13 cm.

Eddigi tapasztalataink alapján a hazai gőz- és termoolaj rendszereket, ahol 100°C -nál magasabb a közeg hőmérséklete a szigetelések vastagsága alapján átlagosan „D” és „E” osztályba sorolhatók. Sok helyen nincs különbség a szigetelőanyag vastagságában a DN méret és hőmérséklet szerint, valamint a leggyakoribb az 5 cm vastag közetgyapot csőszigetelés. A fentiek alapján megállapítható, hogy van tér a fejlődéshez ahhoz, hogy megközelítse a hazai ipar az ökológiai optimumot a szigetelések terén.

Ökológiai optimum

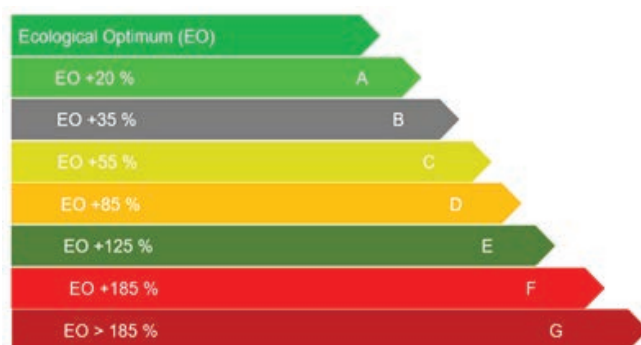
A szabványban szereplő ökológiai optimum és energiahatékonysági osztályok koncepciója a VDI 4610 dokumentum alapján került kidolgozásra. Az iránymutatás legfőbb célja, hogy az erőforrásokat leeffektívebben használja fel az ipar és ezzel minimalizálja az üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátását. Az EN ISO 14040 szerinti életciklus-értékelés alapján határozza meg a szigetelő rendszer gyártásából, felszereléséből és végső elhelyezéséből keletkező üvegházhatású gázkibocsátást. Ez az érték van összevetve azzal a gázkibocsátással, amit a szigetelés használatából eredően takarítanak meg egy technológiai vagy hőelosztó rendszeren.

Az 1. ábra grafikonján az Y tengely jelenti az üvegházhatású gáz kibocsátást, az X tengely pedig a szigetelőanyag vastagságát. A piros görbe az üzemelés közbeni, kék görbe szigetelés gyártásából adódó ÜHG kibocsátást szemlélteti, valamint a zöld görbe



1. ábra. Ökológiai optimum meghatározása

az előző kettőnek az összege. A piros görbe lefutása alapján látszik, hogy minél nagyobb a szigetelés vastagsága egy elemen, annál kisebb üzemelés alatt a hővesztesége és ezzel arányosan az ÜHG kibocsátása is csökken. Minél vastagabb azonban a szigetelőanyag, annál nagyobb a gyártása során keletkező ÜHG kibocsátás. A két görbe összegének minimum pontja, az ábrán szereplő 1-es jelölés jelenti az ökológiai optimumot. Az optimum által meghatározott szigetelés vastagság használatával érhető el a legkisebb környezeti hatás egy hőelosztó rendszeren.



2. ábra. Energiahatékonysági osztályok

Az optimum ponttól való százalékos eltérés szerint vannak meghatározva az energiahatékonysági osztályok. Így például „C” osztályba tartozik az a szigetelő rendszer, ami az optimumhoz képest 35-55%-kal több ÜHG kibocsátást eredményez (2.ábra).

Szabvány lehetséges hatásai

Tapasztalatom szerint a hazai ipari vállalatok hőelosztó rendszerének minimális a szigeteltségi szintje, mondhatni ipari sztenderdje, hogy a csővezetékerek és nagyobb felületeken bádogos vagy keményhéjalású szigetelés található. A jelenleg alkalmazott elvárások nem vesznek figyelembe olyan tényezőket, amiket az EN 17956 szabvány tartalmaz, ezért indokolt lenne a régi kritériumokat kibővíteni és aktualizálni.

Az EN 17956:2024 szabvány megjelenésével lehetőség nyílik arra, hogy új rendszerekre minimum energiahatékonysági osztályt lehessen meghatározni. Ehhez hasonló minősítő rendszer működik az épületenergetikában, ahol az új építésű házaknak el kell érni az „A” energetikai besorolást el kell érni. Az épületeknél az összehasonlítás alapját az összesített energetikai jellemző jelenti. Az új rendszerek szabályozása után pedig a meglévő ipari létesítményekben üzemelő berendezések szigeteléstéchnikai reformjára kerülhetne sor.

Az EKR katalógusban több olyan intézkedés van, ahol minimum szintet határozott meg a döntéshozó és csak az előlotti energiamegtakarítást lehet elszámolni. A szabvány egyben kezeli a teljes hőelosztó vagy technológiai rendszer szigeteléstéchnikai osztályba sorolását. Minimum szint meghatározása akkor lenne relevancia, ha a szelepeket, szivattyúkat és karimákat, amik nagy általánosságban szigeteletlenül üzemelnek külön kezelné a döntéshozó a csővezetékektől és technológiai berendezésektől, amik pedig általában szigeteltek. Így nem kerülne torzító tényező a szigeteletlen elemek energiamegtakarítási potenciáljával kapcsolatban.

Az EN 17956:2024 szabvány alapján összehasonlíthatók szigeteléstéchnikai szempontból a különböző üzemelő rendszerek, ami alapja lehet állami vagy egyéb támogatásoknak. Célszerű lenne támogatni az elavult vagy rossz minőségű hőszigeteléssel rendelkező rendszereket/berendezéseket annak érdekében, hogy azok elérjék a döntéshozó által meghatározott besorolási osztályt. Az osztályok közötti szigetelés vastagság növekedés egész rendszerre nézve nagy beruházási keretet igényel, így szükséges a megfelelő ösztönzés a vállalatok számára. A szigeteletlen rendszer elemek besorolása a szabvány szerint „G”, aminek „F” osztályra való feljavítása

arányaiban a legnagyobb költség, viszont fajlagosan a legnagyobb megtakarítást lehet elérni.

Összefoglalás

Korábbi fejezetben említettem, hogy a magyar ipari rendszerek becslésem alapján „D” és „E” kategóriába tartoznak többségében, tehát mindenféleképpen érdemes foglalkozni a hőveszteség csökkentésével. Az EN 17956:2024 szabvány sok lehetőséget teremt az energiahatékonysági osztályok kialakításával, viszont érdemes tüzetesen átgondolni, hogy egy minimum szint meghatározása milyen hatással lehet az újonnan épülő és működő ipari létesítményekre, arról nem is beszélve, ha ez a minimum szint az EKR szabályozásába is bekerül.

Felhasznált irodalom:

Európai Unió, Energiacímke, https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/labels-markings/energy-labels/index_hu.htm, hozzáférés dátuma: 2025.01.17.

European Committee for Standardization, 2024. EN 17956.

MEKH, Kapcsolódó szabályozások. <https://enhat.mekh.hu/kapcsolodolo-szabalyozasok>, hozzáférés dátuma: 2025.01.17.

38. TÁVHŐ VÁNDORGYŰLÉS

Kevesebb primer – Több megújuló

A hatékony távhővé válás lehetőségei



Az **Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület Hőszolgáltatási Szakosztálya** az idén is megszervezi a hagyományos, őszi két napos Vándorgyűlést.

A Vándorgyűlés tervezett időpontja: **2025. szeptember 16-17.**
helyszíne: **Siófok, PANORAMA Premium Hotel******

Vándorgyűlésünk mottójában foglalt gondolat alapján kiemelt hangsúlyt helyezünk a hőellátó rendszerek hatékony működtetésére, a minél kevesebb primer energiahordozó felhasználására, emellett pedig a klímavédelem eszközeként a megújuló energiahordozók szélesebb körű felhasználására.

A programban a témaköröket különböző blokkokba szerveztük. Kiemelt témák között „A hatékony távfűtés” energiabiztonsági szerepét, a jövő energetikája által felvetett kérdésekre adható válaszokat, a megújuló és alternatív energiaforrások hasznosításának tapasztalatait sorolhatjuk.

A résztvevők tájékozódhatnak továbbá a hőellátás területein végrehajtott műszaki fejlesztések eredményeiről, az épületenergetikához kapcsolódó tervezési és üzemeltetési kérdések tárgyalásáról és a főbb technológiai berendezések működésének elemzéséről.

Az előadások a következő témákat mutatják be:

A hatékony távfűtés szerepe, aktuális trendek a hidrogén gazdaságban, a jövő energetikája által felvetett kérdések, a hőszivattyúk és villanykazánok alkalmazása, az abszorpciós hűtés, a technológia fejlesztések, a mesterséges intelligencia a távhőellátásban, eszközök és berendezések hatékony alkalmazása, valamint a különböző megújuló energiahordozók a hőhasznosításban.

Ez alkalommal is olyan előadók, gyakorlati szakemberek mutatják be a témakörökhöz kapcsolódó előadásait, akik szakmai területükön kiváló felkészültséggel rendelkeznek, és az előadások tartalmának megismerésével további ismereteket szerezhetünk a mindennapi feladataink magasszintű ellátásához.

A rendezvényre ez alkalommal is tisztelettel meghívjuk az érdeklődőket.

A rendezvény szervezői nevében

Gerda István
elnök, ETE Hőszolgáltatási Szakosztály



60 ÉVES A HŐSZOLGÁLTATÁSI SZAKOSZTÁLY

Az energia, ami számít: Intelligens technológiák a költségcsökkentés és fenntarthatóság érdekében¹

Baracska Attila

Ügyvezető igazgató, baracska.attila@konsys.hu

Az előadás középpontjában az intelligens energiamenedzsment megoldások állnak, amelyek jelentősebb beruházási költség nélkül segítenek a vállalatoknak optimalizálni energiafelhasználásukat és csökkenteni a költségeket. A fenntarthatóság és a hatékonyság egyre fontosabb szerepet játszik az ipari folyamatokban, és az innovatív technológiák lehetővé teszik az energiafogyasztás folyamatos ellenőrzését, valamint a szén-dioxid-kibocsátás csökkentését. Az előadás bemutatja a GridMaster (IoT szerver) eszközt, amely valós időben optimalizálja az energiaelosztást, segítve a fogyasztási csúcsok elkerülését és a megújuló energiaforrások jobb kihasználását. Ezt kiegészíti az EnergyXpert platform, amely folyamatos monitorozással és részletes elemzésekkel támogatja az energiafelhasználás hatékony kezelését. Az EnergyXpert beépített anomália detektáló funkciója azonnal értesíti a felhasználókat, ha szokatlan eltérések jelentkeznek, így megelőzhetők a költséges problémák. Ezek az intelligens megoldások nemcsak az energiahatékonyságot javítják, hanem a fenntarthatósági célok elérésében is fontos szerepet játszanak.

*

The presentation focuses on intelligent energy management solutions that help companies optimize their energy consumption and reduce costs without requiring significant capital investment. Sustainability and efficiency are playing an increasingly important role in industrial processes, and innovative technologies enable continuous monitoring of energy usage and the reduction of carbon emissions. The presentation introduces the GridMaster (IoT server) device, which optimizes energy distribution in real time, helping to avoid consumption peaks and make better use of renewable energy sources. This is complemented by the EnergyXpert platform, which supports efficient energy management through continuous monitoring and detailed analysis. The built-in anomaly detection function of EnergyXpert immediately alerts users to unusual deviations, helping to prevent costly issues. These intelligent solutions not only improve energy efficiency but also play a crucial role in achieving sustainability goals.

Az energiatárolás kulcsszerepet játszik a fenntartható energiarendszerek kialakításában és a klímaváltozás elleni küzdelemben. A KLENEN 2025 konferencia, amelynek ideje témája az energiatárolás, kiváló alkalmat nyújt arra, hogy megvizsgáljuk e technológia jelenlegi helyzetét és jövőbeli lehetőségeit.

Az energiatárolás jelentősége napjainkban egyre nő, különösen a megújuló energiaforrások térnyerésével, valamint kulcsfontosságú szerepet játszik a modern energiarendszerekben. A nap- és szélenergia időszakos jellege miatt elengedhetetlen olyan megoldások alkalmazása, amelyek képesek a felesleges energiát

tárolni és szükség esetén visszajuttatni az energiaellátó rendszerbe. Ez nemcsak az energiahatékonyságot növeli, de hozzájárul az energiaellátás stabilitásához és a károsanyag-kibocsátás csökkentéséhez is.

Megvalósult példa

A KONSys Kft. által megvalósított beton gyártóüzem esettanulmánya kiválóan szemlélteti az energiatárolás gyakorlati alkalmazását és előnyeit. A gyártóüzemben előzetesen telepítésre került 4 darab 400 kVA-s Fronius Tauro ECO 100 inverter és napelemes rendszer, illetve 1 darab Socomec Sunsys HES L energiatároló – 200kVA/372kWh. A napelemes rendszer által termelt teljesítmény bizonyos esetekben, meghaladja a gyár által felvett teljesítményt, ezért visszawatt védelem került telepítésre, ami megakadályozza a szolgáltatói hálózatra történő visszatermelést.

A megrendelőnk azzal a kéréssel fordult hozzánk, hogy egy olyan intelligens energia menedzsment rendszert szállítsunk számára, ami lehetőséget biztosít a rendszer olyan módon történő vezérlésére, hogy a napelemek által termelt többletenergiát az energiatárolóba irányítsa, majd éjszaka vagy alacsony termelési időszakokban az eltárolt villamos energiát a gyártóüzem működésének támogatására visszatáplálja.

Ezen megoldásnak több előnye is van. Egyrészt, a megtermelhető napenergiát maximálisan fel tudjuk használni, más szempontból a napelemes rendszer és az energiatároló optimális együttes működése révén maximalizálni tudjuk a megújuló energiafelhasználást, illetve optimalizálni tudjuk a gyár teljesítmény lekötését. Ezen eredmények révén pedig jelentős energiaköltség csökkentést tudunk elérni. A beton gyártóüzemben a gyártás nagyon energiaigényes, ezáltal a termék gyártási költsége jelentős mértékben csökkent.

A megrendelő részéről olyan elvárások is megfogalmazódtak, hogy a rendszer egy olyan felületet is biztosítson, ahol ezen intelligens energia menedzsment rendszer által megtakarított energia pontosan kimutatható legyen.

Az előzetesen megfogalmazott elvárásokhoz cégünk az IntelliSense intelligens energia menedzsment megoldásait választotta. A KONSys Kft. már négy éve forgalmazza az IntelliSense IoT megoldásait Magyarországon. Az elmúlt évben kezdtük meg az IntelliSense energia menedzsment megoldásainak a forgalmazását is, mint IntelliSense szerződött partner.

Cégünk, az IntelliSense megoldásait választotta, mert a vállalat nemzetközi szinten kiemelkedő referenciákkal és tapasztalattal büszkélkedhet, amelyeket célunk hasznosítani a magyar piacon is. Az IntelliSense innovatív megközelítése az energia menedzsment területén egyedülálló; az IoT és a mesterséges intelligencia alapú technológiáik révén piacvezető megoldásokat kínálnak, amelyekkel ügyfeleink számára fenntarthatóbb és költséghatékonyabb működést biztosíthatunk.

¹ A cikk a KLENEN '25 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

Intelligens energiamenedzsment megoldás

A műszaki megoldás egyik fő komponense, az IntelliSense IoT szervere, amely a különböző típusú eszközök közötti kommunikációt, adatgyűjtést és vezérlési feladatokat valósítja meg.

A megoldás előnye, hogy az IntelliSense egy olyan kompakt megoldást biztosít részünkre, hardver és szoftver egyben, amely könnyen konfigurálható és testre szabható a vevői igényekre (1. ábra). A rendszer struktúra topológiát a 2. ábra mutatja.

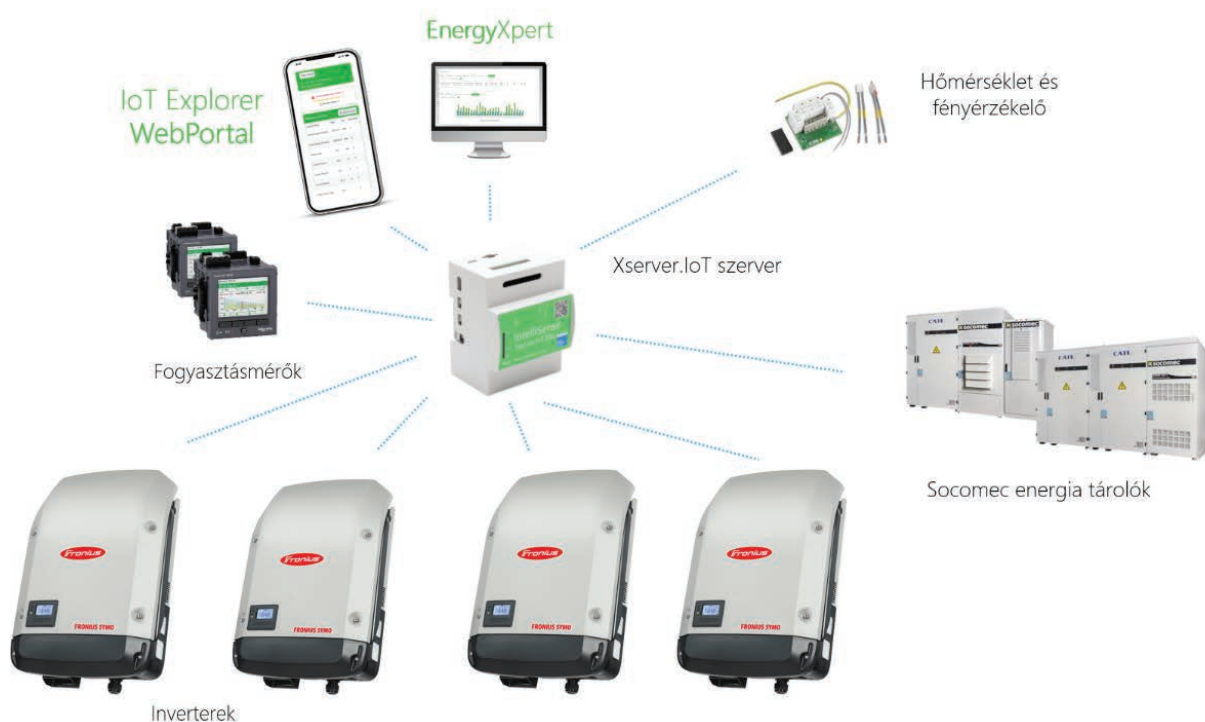
Zökkenőmentes, biztonságos, egyszerű energiagazdálkodás

- **Zökkenőmentes integráció:** Könnyedén csatlakozik különféle eszközökhöz és rendszerekhez, mint például SCADA, BMS és ERP rendszerekhez.
- **Rugalmasság:** Támogatja a többféle protokollt, könnyen alkalmazkodik a különböző ipari környezetekhez.
- **Biztonság és megbízhatóság:** Robusztus titkosítást és beépített védelem.
- **Távoli felügyelet és vezérlés:** Valós idejű energiafelügyeletet és távoli menedzsmentet biztosít.



1. ábra. A rendszer jellemzői

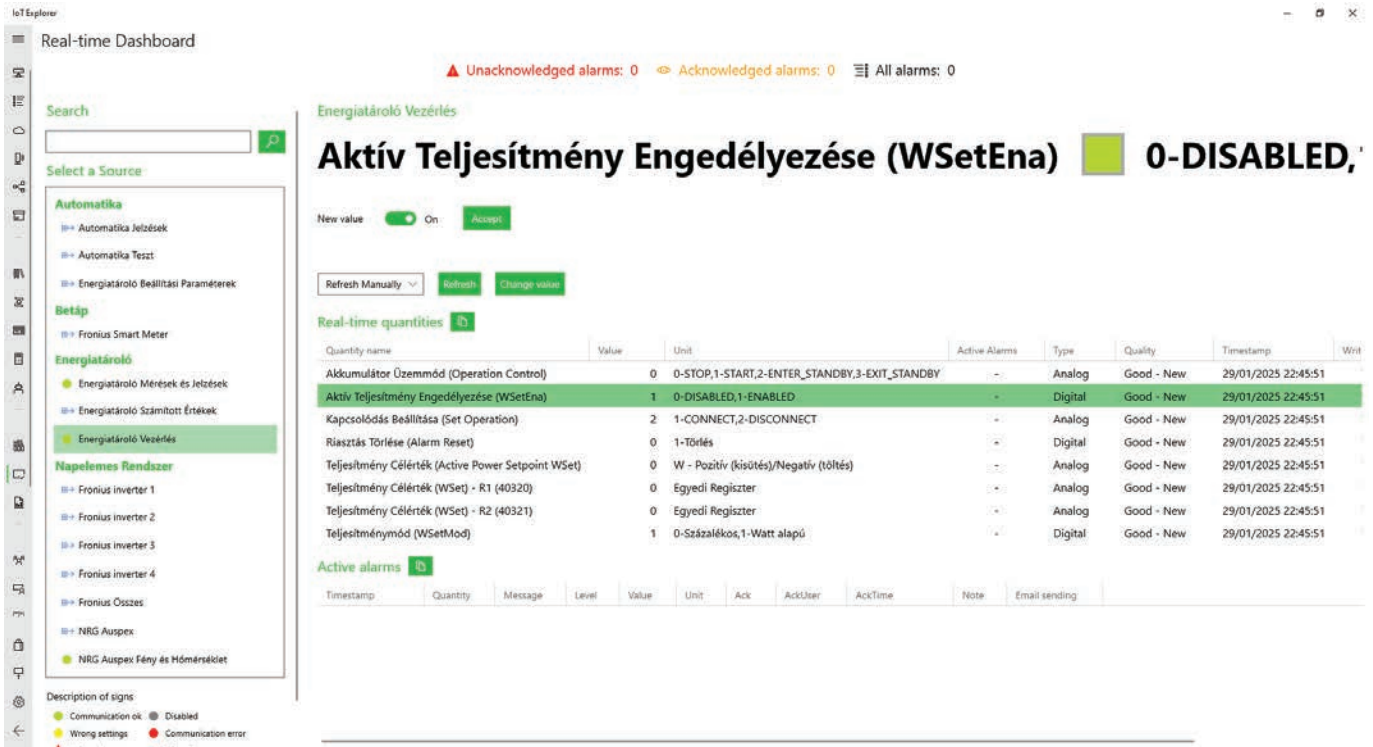
Energiaoptimalizálás IoT Szerver segítségével



2. ábra. Rendszer topológia



3. ábra. Trend analízis



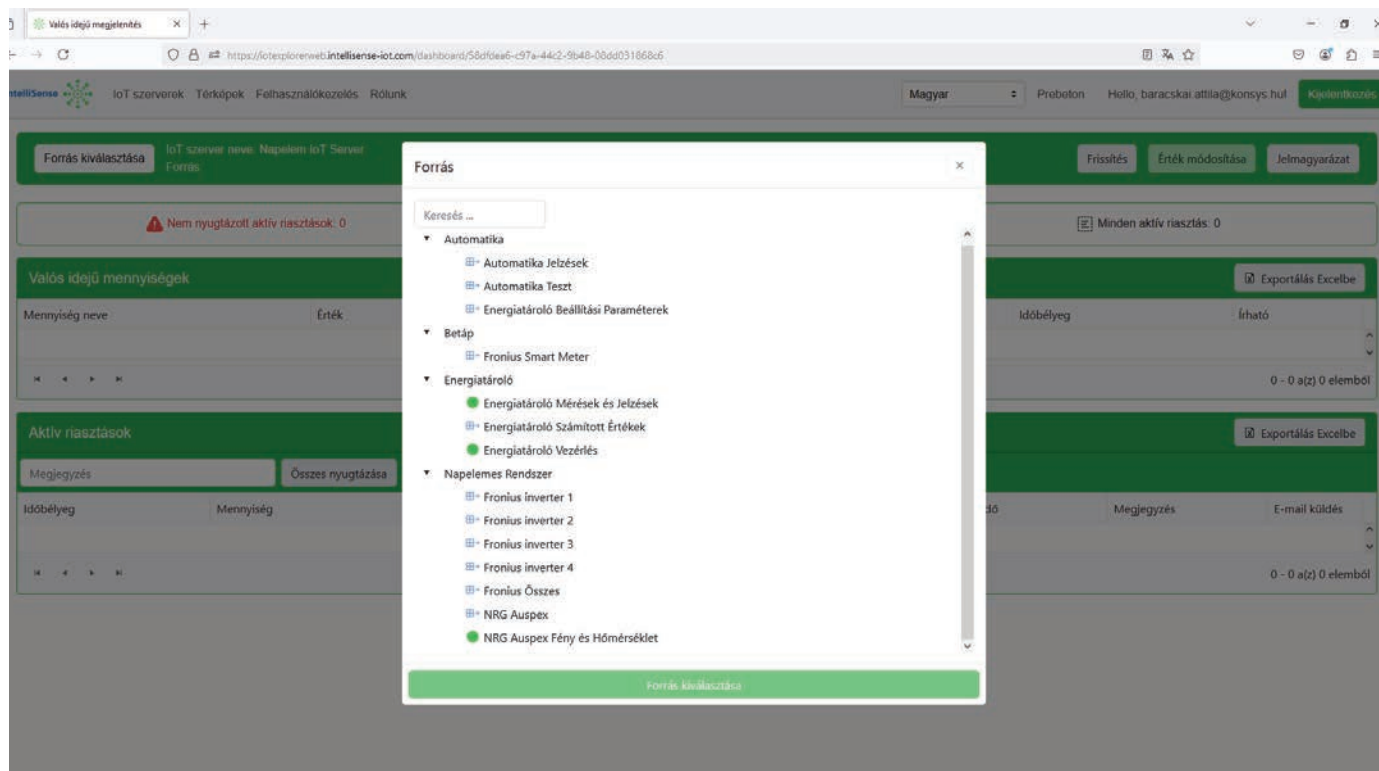
4. ábra. Real-time Dashboard

Az IoT szerver az előzetesen megfogalmazott feladatokon túl még az energia menedzsment futtatását is ellátta. Az IntelliSense EnergyXpert alkalmazása került telepítésre, amely egy AI megoldással támogatott energia menedzsment szoftver.

Az EnergyXpert fejlett algoritmusokkal folyamatosan figyeli a létesítmény energiafogyasztását vagy termelését és felismeri a szokatlan mintákat vagy eltéréseket a normál fogyasztástól, például vá-

ratlan energiafelhasználási csúcsokat vagy csökkenéseket. Ezeket az anomáliákat valós időben jelzi, lehetővé téve, hogy még azelőtt kezelhesse a problémákat, mielőtt azok hatékonyságcsökkenéshez vagy magasabb költségekhez vezetnének.

Az EnergyXpert IoT szerverbe integrálhatósága révén, további IT hardver telepítése nem vált szükségessé, amely az installáció költségeit csökkentette.



5. ábra. IoT Explorer Web Portal képernyőkép

Az üzemeltetéshez az IntelliSense IoT Explorer Web Portal alkalmazását használtuk, amely az üzemeltetőknek és a létesítmény felelősnek hasznos eszköz, mivel akár egy okos telefon segítségével távolról felügyelni is tudja a folyamatokat és ha szükséges még a paraméter beállításokat is tudja módosítani (3., 4. és 5. ábra).

Összefoglalva a IntelliSense energia menedzsment rendszer előnyeit a rendszer telepítő és a végfelhasználó szempontjából:

Rendszerépítés előnyei

- **Egyszerű integráció:** Támogatja a széles körű eszközök és protokollok zökkenőmentes integrációját.
- **Gyors telepítés:** Egyszerű és gyors telepítés és konfiguráció (integrált megoldás az IoT szerverbe).
- **Karbantartásmentes:** Minimális rendszerkarbantartás szükséges, hosszú távú használatra problémamentes megoldást nyújt.
- **Magas szintű biztonság:** Erős titkosítás és adatvédelem a biztonságos működés érdekében (NIS-2, ISO27001, Microsoft Azure Certified Device).

Felhasználói előnyök

- **Anomáliák észlelése:** Automatikusan észleli és figyelmeztet a működési problémákra.
- **Távoli hozzáférés:** Valós idejű megfigyelés és irányítás bárholonnan (IoT Hub-on keresztül kapcsolat).
- **AI-alapú automatizálás:** Minimalizálja a felhasználói beavatkozást, mivel az AI és automatizált rendszerek végzik el a feladatokat.
- **Automatizált adatfeldolgozás és riportozás:** Fejlett riportok és elemzések a jobb döntéshozatal érdekében.
- **Skálázhatóság:** Rugalmas megoldások felhő és helyi telepítésekhez, bármilyen méretű rendszerekhez alkalmazkodva.

A megvalósítással elért eredmények

Optimalizált energiahasználat: A felesleges napenergia begyűjtésével és tárolásával a létesítmény csökkentette a hálózati áramtól való függőségét, és ezáltal az energiaköltségeket is mérsékelte.

Energia betekintés: A környezeti érzékelőkből származó valós idejű adatok lehetővé teszik az ügyfél számára, hogy pontosan lássa, mennyi energiát tudna termelni, segítve az optimális energiafelhasználást.

Fenntarthatóság: A felesleges napenergia tárolásával a létesítmény növelte energiahatékonyágát, valamint csökkentette energia költségeit és környezeti lábnyomát.

Összegzés és kilátások

A modern energiamenedzsment rendszerek, mint az IntelliSense megoldásai, nemcsak az energiahatékonyág növelésében és a költségek csökkentésében játszanak kulcsszerepet, hanem hozzájárulnak egy fenntarthatóbb és rugalmasabb ipari működéshez is. A bemutatott projekt jól példázza, hogy az innovatív technológiák, az IoT és az AI együttes alkalmazásával hogyan lehet optimalizálni az energiafelhasználást és kihasználni a megújuló erőforrások teljes potenciálját.

Az energiaágazat folyamatos fejlődése azt mutatja, hogy a hatékony tárolási és menedzsment megoldások egyre nagyobb szerepet kapnak. A vállalatok számára nemcsak gazdasági előnyt jelent az intelligens energiamenedzsment, hanem egy olyan stratégiai lépést is, amely biztosítja versenyképességüket a jövőben.

Elkötelezettségünk ereje abban rejlik, hogy partnereinknek a legmodernebb és leghatékonyabb energiaoptimalizálási megoldásokat kínáljuk, ezzel hozzájárulva egy intelligensebb és fenntarthatóbb ipari környezet kialakításához.

Ne feledjük! A megújuló energia és a digitális innováció összefonódásával a lehetőségeink határtalanok.

A hidrogén lehetséges szerepe a jövő járműhajtási rendszereiben¹

Lukács Pál

tudományos főmunkatárs, Széchenyi István Egyetem, Járműipari Kutatóközpont (SZE-JKK)

A világ autógyártása szüntelen változásban van és ez különösen igaz az elmúlt 5 évre. Öt éve még lefutottnak tűnt a belsőégésű motorok története, a kérdés csak arról szólt a nagy „zöldítés” jegyben mikor futnak le az utolsó dízel- és benzínmotorok a gyártószalagokról. Ezzel szemben 2024. nyarán arról szólt a történet, hogy a szintetikus tüzelőanyaggal meghajtott belsőégésű motorok 2040 után is velünk lesznek az utakon. 2024. novemberében már arról jött a híradás, hogy a VW csoport átcsoportosított 80 milliárd Eurót a belsőégésű motorok fejlesztésére. Látható, hogy az elmúlt egy éven belül is óriásit változott a világ és most a gazdasági, pandémiás és katonai válságokról, ellátási láncok összeomlásáról, földindulásszerű politikai változásokról még nem is beszélünk. Hol van/ lesz ebben szerepe a hidrogénnek? Mert lesz szerepe a hajtásláncokban, csak nem feltétlen úgy és abban a formában, mint ezt korábban gondoltuk...

*

The world car industry is in a constant state of changing and this has been particularly true over the last 5 years. Five years ago, the history of the internal combustion engine seemed to be over, the question was when the last diesel and petrol engines would roll off the production lines in the great “greening” drive. By contrast, in the summer of 2024, the story was that synthetic-fueled internal combustion engines would still be on the road after 2040. In November 2024, it was reported that the VW Group had reallocated €80 billion to the development of combustion engines. We can see that the world has changed enormously in the past year, and we are not even talking about economic, pandemic and military crises, collapsing supply chains, and earth-shattering political changes. Where is hydrogen playing a role in this? Because it will have a role in the drive chains, just not necessarily in the way and in the form, we thought it would...

A Föld élővilágát és vele együtt az emberiséget rengeteg negatív hatás érte, éri a XXI. század első évtizedeiben. Ennek egy jelentős részét az alkotó ember önmagának okozta, részben a rábízott erőforrásokkal való rossz gazdálkodás és az általa megalkotott eszközökkel való kellően át nem gondolt tevékenysége miatt. A 2023 környékére elért 8 milliárd főnyi földi népesség jelentősen egyenlőtlen eloszlásban terheli meg Földünket, a lakosság túlnyomó többsége néhány régióra, országra koncentrálódik, ide tartozik a Távol-Kelet, Afrika, Közép- és Dél-Amerika. Ezekben az országokban is változik a népességszám alakulása, a gazdasági fejlődésben, fejlettségben élre törő országok (lásd Kína) kezd lélekszámban stagnálni és középtávon visszaesni, ahogyan ez korábban Japán és Dél-Korea esetében is jól megfigyelhető volt. Ennek ésszerű magyarázata, hogy a fogyasztói társadalmakban az egyén kezd a saját egoizmu-

sától vezéreltetve egyre inkább saját magára, a felépítendő karrierjébe és önnön jólétére koncentrálni, amelybe már nem nagyon fér bele a gyerekvállalás sem, ez pedig az adott ország népességreprodukciós képességét veszélyezteti immáron.

Az emberi tevékenység jelentős részét alkotja a motorizált közlekedés, a teljes emissziós kibocsátáson belül ennek hatását 20% körülire becsülik. Ettől függetlenül a klímaváltozás hatásainak csökkentése érdekében a közlekedési ágazatoktól megkövetelt CO₂-kibocsátás csökkentését túlnyomórészt ma még a közúti közlekedéstől, azon belül is a személygépjárművektől várják el a jogalkotók. A saját tulajdonú személygépkocsi birtoklása státuszszimbólum, a kézben tartott mobilitás jelképe. Ennek megfelelően a fejlett országokban az 1000 főre jutó személygépkocsik darabszáma 500-800 között van, Magyarországon mindez 400 darabot jelent, míg a fejlődő országokban mindez jóval kisebb mértékű. De a világ abban az irányban halad, hogy Kínában, Indiában, és más nagy lélekszámú országokban is egyre többen kívánnak autóhoz jutni, ami jelenti egyrészt az évente gyártott személygépkocsik számának emelkedését, illetve azt is, hogy a globalizált autóiparban a súlypontok egyre inkább a nagy lélekszámú országok felé tolnak el, csökkentve ezzel az európai és egyben a magyar autóipar jelentőségét is.

Az 1970-es évek kaliforniai szmogjelenségei követelték meg az első emissziókra vonatkozó rendeletek megjelentetését, amelyet azóta a világban több hullámban számos újabb korlátozó jogszabály követett. Így jutottunk el az EURO0 járművektől az EURO7-es kibocsátási besorolásig, amely egyesek értelmezésében ma már „tisztább levegőt” juttat vissza a belsőégésű motorokból a környezetbe, mint amelyet az működéséhez beszívott. A hetvenes évek olajválságai indították el azt a tendenciát a személygépkocsik tervezésében, gyártásában, amelyek a csökkenő fogyasztást és ebből adódóan kisebb károsanyag kibocsátást hivatottak elérni. Mindez persze az olajban gazdag, illetve belpiacukon az olajtermékeket Európához képest lényegesen olcsóbban forgalmazó országokra, mint az Egyesült Államok, vagy a közel-keleti olajállamok nem vonatkoztak, ott maradtak a bőven 2 tonna feletti karosszériák és 3 liter feletti hengerűrtartalmú belsőégésű motorok. Érdekes tendencia, hogy miközben a gyártók új megnövelt szilárdságú anyagok és gyártástechnológiák alkalmazásával igyekeztek a nyers járműkarosszéria tömegét csökkenteni, aközben a végállapotra szerelt járművek tömege mégis nőtt. Ennek oka az elektrifikáció terjedése a járművekben, mindez az utaskényelmi, komfort, járműbiztonsági és környezetvédelmi szempontok érvényesítésével függ össze. Mindenki szeretné ugyanis járművében a legújabb, legmodernebb, legkényelmesebb és legbiztonságosabb műszaki megoldásokat látni, a gyártók pedig éppen ezekkel igyekeznek a konkurenciától átcsábítani az ügyfeleket. Ma egy középkategóriás belsőégésű motoros hajtáslánccal szerelt autó bekerülési költségében hozzávetőlegesen 30%-nyi mértékű az elektromos- elektronikai termék értéke, ugyanez a szám hibrid járművekben 50%, míg elektromos

¹ A cikk a KLENEN '25 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

autókban már akár 70% is lehet. A jövő járművei ennek megfelelően már sokkal inkább tekinthetők szoftverrel működtetett hardver platformok integrált rendszerének, mint hagyományos mechanikus gépészeti szerkezetnek és tervezésükben, gyártásukban egyre inkább villamosmérnökök és informatikusok vesznek majd részt a mai gépész- és járműmérnökök helyett.

Közben a klímaváltozás hatásainak globális felerősödésével elindult az autóipar személygépkocsi gyártó szegmense is az elektromobilizáció irányában, itt azonban egyrészt a célkitűzések, másrészt az állami szubvenciók érvényesítése szempontjából egészen más alapelveket követett az Európai Unió, az Egyesült Államok és Kína is. A legnagyobb rendszerintegrátor európai autóipar maradt az utóbbi évekig az a szegmens, amelyben Európa még versenyképes maradt nemzetközi konkurensével, minden más iparágban beérték, meghaladták, illetve növekvő versenyhátrányba kerül nyersanyagok és ásványi kincsek hiányában, öregedő társadalmaival, drága energiaáráival és humán erőforrásával, illetve nem versenyképes befektetői környezetet biztosító, túlbürokratizált szabályozási rendszerével. Az elektromobilizáció azonban úgy tűnik ezt az európai ipar utolsó fellegvárát is megingatta, a belsőégésű motorok erőltetett kiszorítását követelő jogalkotók talán nem feltétlenül gondolták végig mit is jelent mindez az egyes országok gazdaságának. A klímaváltozás elleni harc egyik fontos és lehetséges eszköze az energiapolitika átalakításában a hidrogén, de nem feltétlenül úgy és abban a formában, mint ahogyan azt eddig gondoltuk. A hidrogén közlekedésben való felhasználásával kapcsolatos jelenlegi és jövőbeli forgatókönyveket tekinti át ez az írás.

Mai tendenciák az autóiparban

Az európai jogalkotók a klímaváltozás elleni küzdelemben maguk elé fektettek egy ütemtervet, amelyben a 2050-ig tartó karbonsemlegesség elérésében harcot hirdettek a fosszilis energiaforrásokkal (szén, földgáz és a kőolaj) szemben. A cél az volt, hogy elsősorban a villamos energiatermelésből teljesen eltűnjön mind a szén, mind a földgáz és helyüket az időjárásfüggő megújulóknak vegyék át. Ezek jellegükből adódóan – mivel időjárás-, és évszak a nap esetében pedig napszak függők, így – nem képesek zsinórát termelni, ezért a földgáz szerepe annyiban megmaradt volna, hogy az időjárásfüggő erőművek egyenetlen termeléséből adódó áramlengéseket az Oroszországból behozott, olcsó földgázzal működtetett kiegyenlítő gázturbinákkal simították volna ki. Hiszen az olcsó és korlátlanul rendelkezésre álló orosz földgáz képezte a német – és ezen keresztül az európai – ipar és gazdaság növekedésének alapját, erre épült az európai jólét. Mindez szertefoszlott a 2008-9-es gazdasági válság, a pandémiás helyzet, valamint egyértelműen a 2022-ben elindult orosz-ukrán konfliktus hatására. A nem teljesen a saját akaratából sodródó Európa először erőszakos harcot hirdetett a fosszilis energiahordozók orosz függésének megszüntetésére, azonban a Zöld Megállapodás (Green Deal) [1] eszközkészlete ugyanolyan csapdát hordozott magában, ez pedig a zöld energiaátmenet (nap- és szélenergia, valamint a rengeteg elektromos- és elektronikai termék) megvalósításához szükséges kritikus- és stratégiai nyersanyagok széles tárháza, amely pedig egyértelmű kínai függőséget jelenít meg. Az EU éppen ezért iktatta be cselekvési- és jogi rendjébe a lineáris gazdasági modellről a körforgásos gazdaságba történő átmenet biztosító Körforgásos Gazdasági Akciótervet (CEAP) [2], valamint 2024. tavaszán a Kritikus Nyersanyagokra Vonatkozó Törvényt (CRMA) [3]. Ezek lennének hivatottak az életciklus végi termékek újra hasznosításával leg-

alább részben elkerülhetővé tenni a mai óriási mértékű, harmadik országtól (különösen Kínától) való függés kialakulását és fojtogató vetületeit.

Az EU úgy gondolta, hogy a klímaváltozás elleni küzdelem élére állva a járműipar és azon belül a személygépkocsik drasztikus emissziócsökkentésével olyan példát mutat a világnak, amely irányt adhat majd mindenki számára. Amire nem gondoltak, amivel nem számoltak az EU politikusai, az a szimpla önző gazdasági és társadalmi érdekek előtérben helyezése más földrészek, nagy országok irányítói, vezetői és nagyiparosai részéről. Ugyanis akár Kína, akár az Egyesült Államok irányítói csak addig tekintették az európai jogalkotók törekvéseit támogatandónak, ameddig az a saját érdekeiket szolgálta, ez pedig nem volt más, mint az európai autóipar nyeregből való kiütése, évszázados hierarchiájának megtörése. Miről szólt ugyanis az európai autóipar évszázados versenyelőnye? Nem másról, mint a belsőégésű motoros hajtásláncok és ezek tüzelőanyagellátó rendszereiben megtestesülő több évtizedes rengeteg innovációs munkáról, elsősorban a német autógyárak és TIER1-es beszállítók (Bosch, Continental, ...) számtalan szabadalmáról és eredményéről. Közben a kínaiak az elektromos játékok piacából kiindulva a legkisebb teljesítményszintekről tudatosan és konzekvensen felépítették saját elektromos akkumulátor-, majd elektromos autógyártó iparukat, amelyben hatalmas állami támogatásokkal óriási gyártókapacitásokat építettek ki és immáron Magyarországon, Szegeden is épül a BYD komoly járműgyártó bázisa. Az Egyesült Államokban pedig a Tesla alakította ki birodalmát gyakorlatilag a semmiből és 2025-ben a világon a Tesla vetélkedik a BYD-val a legnagyobb elektromos autógyártó pozíciójáért. Ha az európaiak visszalépnek arról a területről, ahol előnyük volt, ámde tegyék, ezt sem Kína, sem mások nem bánták, jól tudva azt, hogy a stratégiai és kritikus nyersanyagok területén megvan az a versenyelőnyük Európával szemben, amely nekik volt a belsőégésű motorok és ezek tüzelőanyagellátó rendszereinek területén. A politikai és gazdasági változások hatására nagyon átalakult az európai gondolkodás is, igaz ez egyelőre elsősorban az iparban és sokkal kevésbé az egyesített európai politika területén látszik. A második kormányzati ciklusát kezdő Ursula von der Leyen elnök által vezetett Európai Bizottság az Európai Parlament háttértámogatásával még próbálja ugyan a Zöld Átállás keretei között a közúti közlekedés zöldítését erőltetni, ez azonban egyre inkább megtörni látszik a hanyatló európai ipartól megrettenő és az európai választók által egyre inkább büntetett politikusok elhatárolódása által. Hiába, ha összeomlik az európai gazdaság, elmúlik a jólét, odavesznek a gazdasági, társadalmi vívmányok, akkor ennek veszélye már a legelkötelezettebb zöldátállás támogatókat is eltántorítja a további lépésektől.

Talán a legjobb példa erre a belsőégésű motorokkal kapcsolatos EB/EP álláspont gyökeres megváltozása volt 2024. év folyamán. Év elején még az képezte a vita tárgyát, hogy a 2035-ös céldátumhoz képest mi legyen az az előrehozott dátum, amikortól betiltanak a belsőégésű motorral szerelt hajtásláncú járművek első forgalomba helyezését. Évközben már arról szóltak a híradások, hogy a belsőégésű motorok még 2040 után is velünk lesznek, csak hajtóanyagukként a szintetikus tüzelőanyagok szolgálnak majd. 2024 novemberében pedig már arról kaptunk hírt, hogy a VW-konzern az átállásra, átalakulásra félretett 180 milliárd eurónyi keretéből 80 milliárd eurót átcsoportosított belsőégésű motorok fejlesztésére. És mindez a változás nem egészen egy év alatt ment végbe!

Az európai autóipar tehát most ott áll, hogy keresi a jövőbeli helyét és jelenleg közel sincsenek kőbe vésett dogmák, csak kivá-

rás, útkeresés és helyezkedés zajlik. Ami jó hír, hogy mint általában a mélyülő válsághelyzetek idején, az európai autópia is óriási pénzeket mozgatott be az innovációba és kutatás-fejlesztésbe, amely nekünk innovátor nemzetnek mondott magyaroknak is komoly lehetőségeket csilanthat fel a jövőre nézve. Ami látszik, hogy az elektromos autók átütő elterjesztése a kifutott állami támogatási programok hatására jelentősen lelassult, gyakorlatilag elfogyott a kereslet a tisztán elektromos akkumulátorokkal működő járművekre. Az iparági meghatározó szereplők egyöntetű véleménye, hogy középtávon nagyjából 30% körül áll majd be a személygépkocsiknál a tisztán akkumulátoros autók aránya, most elsősorban a hibrid (belsőégésű és villamos hajtással kombinált) hajtásláncú járművek kereskedelme ível felfelé. Hogy hosszútávon mi lesz a nyerő hajtáslánc megoldás, erre most senki sem merne nagy összegű fogadásokat kötni. És a jelenlegi állapotig való eljutás és helyzetértékelés ismertetése után immáron eljutottunk odáig, hogy a hidrogén közlekedési hajtásláncokban való lehetséges szerepéről is beszéljünk.

A hidrogén, mint a jövő közlekedésének hajtóereje

Miért tűnt a hidrogén a klímaváltozás elleni harc egyik legnagyobb lehetőségének? Mert a világegyetem egyik (kötött formában) legelterjedtebb, legegyszerűbb kémiai szerkezetű, legkisebb méretű elemeként a leginkább alkalmasnak látszott a fosszilis kiváltására, környezetbarát energiahordozó és tároló közegeként. Elégetésekor víz keletkezik, nincs CO₂-kibocsátás, amely nem igényel további kezelést. Legegyszerűbb előállítása vízbontással, jelentős energiabefektetés mellett történik, erre ideális forrásként szolgálhat az időjárásfüggő megújuló energiatermelő egységek, úgymint a napelemek, szélkerekek által megtermelt villamos energia.

Az 1. táblázat néhány járműhajtóanyagként is szolgáló energiahordozó energiatartalmát és széndioxid kibocsátását szemlélteti, csak a megfelelő konzekvenciák levonhatósága érdekében.

1. táblázat. Járművek tüzelőanyagaiként is felhasználható energiahordozók energiatartalma és fajlagos széndioxid kibocsátás [4]

Energiahordozó	Energia-tartalom MJ/kg	Energia-tartalom MJ/liter	CO ₂ - kibocsátás kg CO ₂ /kg
Hidrogén (gáz)	120	2,0	0,0
Hidrogén (cseppfolyós)	120	8,5	0,0
Földgáz	33-50	9,0	0,5
Benzin	40-43	31,5	0,9
Dízelolaj	43	35,0	0,9
Biodízel	37	33,0	0,5
Etanol	21	23,0	0,5

Tehát első közelítésben a hidrogén egy kiváló és környezetbarát módon használható energiahordozó és hajtóanyag, azonban mindmáig sem tudott maradéktalanul átütő sikert elérni sem az energetikában, sem a járműiparban. Mi volt ennek az oka? Talán azért, mert vannak olyan az előállításával, de különösen a tárolásával, továbbításával és felhasználásával kapcsolatos kevésbé taglalt, de meglevő problémák, amelyeket rengeteg K+F+I tevékenységgel kell orvosolni a jövőre nézve. Vagy másik megoldásként a hidrogénre nem elsődlegesen gázformátumú felhasználásában kell gondolni, hanem valami másba, például folyadékba (metanol) „becsomagolva”.

Az első probléma a rendkívül kis sűrűség, 1 kg hidrogén 15 °C hőmérsékleten és 1 bar nyomáson 11,89 m³ térfogatot jelent, emiatt van szükség az emelt nyomásszinteken (járműtechnikában a 350 és 700 bar az elterjedt) való alkalmazásra. Gázpalackban 200 bar nyomáson és 15 °C hőmérsékleten a sűrűség már 14,93 kg/m³ szemben az 1 baron fennálló 0,089 kg/m³ értékkel. Ugyan ma már a hidrogén tankolása időben összevethető a benzin és gázolaj hagyományos autókba töltésével, azonban éppen a töltőállomás hálózat elégtelensége, a kutak ritka elhelyezkedése és a benne kapható hidrogén tüzelőanyag nagyon magas ára (a vágyott, ígért 2 EUR helyett ma inkább 10-15 EUR/kg) veti mostanában vissza a vásárlói kedvet az ilyen autók vásárlásától. A másik probléma, hogy mivel a hidrogén gáz a természetben előforduló legkisebb molekulából áll, ezért az hajlamos idővel bármely – egyébként kiváló minőségű – tartályból is eldiffundálni, abból megszökni. Ugyanez igaz a szállító csővezetésekre és azok csatlakozó elemeire is. Tehát a tárolási, szállítási nehézségek adóttak, ezekre megoldást kell találni. A mai álláspont szerint a normál földgázszállító vezetékekben akár 10% mértékig is nagyobb gond nélkül hozzákeverhető a hidrogén, így a későbbiekben ez a szállítás egy lehetséges alternatívája lehet majd, nyilván a megfelelő bekeverő/leválasztó egységek időbeli rendelkezésre állását feltételezve. Harmadik nagy probléma a levegővel 4-74% széles koncentrációban való robbanóelegy képződése, amely figyelembe véve a szivárgásra való hajlamot fokozottan veszélyes üzemet jelent. A negyedik olyan nehézség, amiről nem nagyon esik szó, ez a bőven 2.000 °C feletti égési hőmérséklet, amely viszont a levegőben levő 78%-nyi nitrogén nitrogén-oxidokká való elégését eredményezi, amely egy súlyos kezelendő probléma. A nitrogén-oxidok köztudottan üvegházhatású, légszennyező anyagok és erősen ártalmasak az emberi szervezetre. Miattuk vezették be az AdBlue rendszereket az EURO6-os emissziókezelő rendszerekben és az ő „félresikerült” kezelésük vezetett az európai autópia megroppantó dízelbotrányhoz is.

Mindezek a felsorolt problémák közvetlenül hátráltatják a hidrogén, mint járműhajtóanyag gázként való előretörését, azonban ez nem feltétlenül akadályozza majd meg a jövőben a hidrogén kötött, például folyadékban (metanol) való felhasználását, így a szintetikus tüzelőanyagok egy lényegi kifejtése is lehet a légköri széndioxidból leválasztott, megkötött és megfelelően felhasznált metanol.

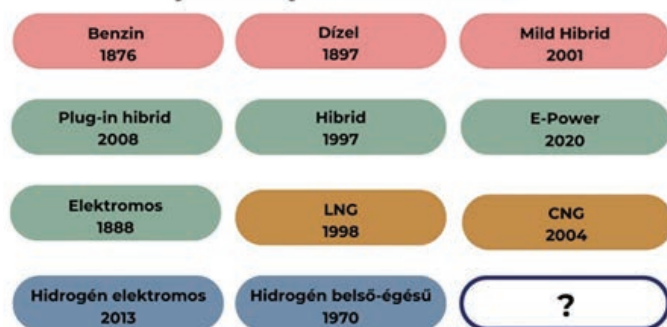
Meddig jutott a hidrogén felhasználása a járműiparban?

Az Autós Nagykoalíció elnöke Knezsik István 12 hajtáslánc kombinációjában látja a jövő járműmegoszlását minden egyes ország adottságaihoz illesztett módon [5], ezek közül a 12. kilétét még nem fedik fel az autógyárak. Ezt szemlélteti az 1. ábra.

Az 1. ábrából két nevesített hidrogént, mint tüzelőanyagot használó megoldás látható. A belsőégésű motoros alkalmazás már az 1870-es években ismert volt, ezeket a benzin és a porlasztó együttes megjelenése szorította ki a járműgyártás kezdeti szakaszában. A hidrogén elektromos hajtásokban való alkalmazását elsődlegesen a tüzelőanyagcellás autóknak köszönhetjük. Az elmúlt időszak egyik legsikeresebb tüzelőanyagcellás autóját a Toyota gyártotta a Mirai elnevezésű járművével. A 2014-ben még a jövő autójának beharangozott, de tíz év alatt abból összesen 27.500 példányban értékesített jármű életútját talán a legújabb, amerikai fejezet példázza leginkább.

Itt az elégedetlen amerikai vásárlók harminc fős közössége együttesen perelte be a gyártót, no persze nem a jármű minőségi

A 12 féle hajtáslánc egészséges, adott országra specifikált mixe jelenti a jövő mobilitását!



1. ábra. Mai hajtáslánccok és ezek megjelenésének időpontja (forrás: [5])

problémái miatt. Az autó kiváló, csak éppen nincs hol megtölteni, 2023-ban már csak 52 helyen lehetett az országban megtankolni, az egy évvel korábbi 59 töltőállomással szemben. És míg a tankolás kezdetben 13 \$/kg-ba került, mára mindez már 36 \$/kg-ra növekedett, így egy teljes tankolás (5,65 kg) költsége 203 \$-ra nőtt, az amerikai járműtulajdonosok pedig nem ehhez a költségszinthez vannak szokva. Egyes extrém hideg napokon pedig még a töltőfej is odafagyhat az autóhoz, ami szintén ennek a tankolási módnak a kiforratlanságát mutatja [7]. Nem véletlen, hogy a magyarországi hidrogénhajtású járművek számának terjedését is jelentősen gátolja az összesen 1 darab hozzáférhető töltőállomás (Budaörs) megléte, miközben a 2018-as első hidrogén konferencián Budapesten még arról beszéltek, hogy 2020-ra kettő, 2025-re 5, 2030-ra 14 közúti hidrogén töltőállomás lesz hozzáférhető Magyarországon [8].

A személyautókban történő közvetlen tüzelőanyagcellás hajtások vetületében már a japánok sem túl bizakodóak, 2025-ben így elsődlegesen a teherautók, buszok és furgonok területére koncentrálták erőforrásaikat [9].

Ettől függetlenül a más gyártókkal, így a BMW-vel való együttműködést is folytatják a jövőben, a német gyártó például még 2024.

szeptemberben arról nyilatkozott, hogy a Toyotával közös fejlesztése eredményeként 2028-ban dobja majd piacra első szériában gyártott tüzelőanyagcellás (FCEV) járművét [10].

A személygépjárművekben való tüzelőanyagcellás hidrogénhajtás áttörése tehát egyelőre nem tűnik a közeljövőben még pár százszázas darabszámok mellett sem keresztlívihetőnek, ennek fő oka a gáz formátumú hidrogén magas ára, a töltőállomás hálózat hiánya, a tüzelőanyagcellák magas ára, a sorozatgyártás és értékesítés elmaradása, emiatt pedig a járművek magas egyedi ára a ma dömpingáron kínált kínai és amerikai tisztán akkumulátoros autókhoz képest.

A haszongépjárművek esetében egyszerűbb lehet például egy olyan flotta együttes menedzselése, ahol a teherautók, vagy buszok minden este ugyanabba a központi remízbe térnek vissza. Előnyös lehet, hogy a nagyobb méretű járműveken a hajtáslánc és a hidrogéntartályok részére egyszerűbb a helyet megtalálni, kevésbé okoz a helyszűke problémát, mint a személygépkocsik esetén. A harmadik ok pedig, hogy a nehézjárművek villamosítása a mai akkumulátortechnika alkalmazásával is csak nehezen oldható meg, illetve aránytalanul nagy tömegű akkumulátor beépítését igényelné a megfelelő hatótáv eléréséhez.

A 2010-es években elkezdődött hidrogénbuszos projektek eredményeként manapság már 8-10 hidrogénbusz üzemel olyan nagyvárosokban, mint Aberdeen vagy Hamburg. Egyre nagyobb átfedéseket mutatnak majd a városokban a busz és trolibusz hajtásláncokban a hidrogén tüzelőanyagcellás megoldások a tisztán akkumulátoros kiserelésű járművekkel. Ez nem teljes elektromos felsővezeték ellátottságú helyszíneken jelenthet majd nagy előnyt.

A teherautózásban mind Európában, mind Ázsiában jelentős fejlesztések történnek a területen, viszont a legígéretesebb helyszínt a mai szemlélet szerint a vasúti közlekedés jelentheti a hidrogén alkalmazására. Itt kiemelhetők az Alstom, a Siemens és a Stadler a gyártók közül.

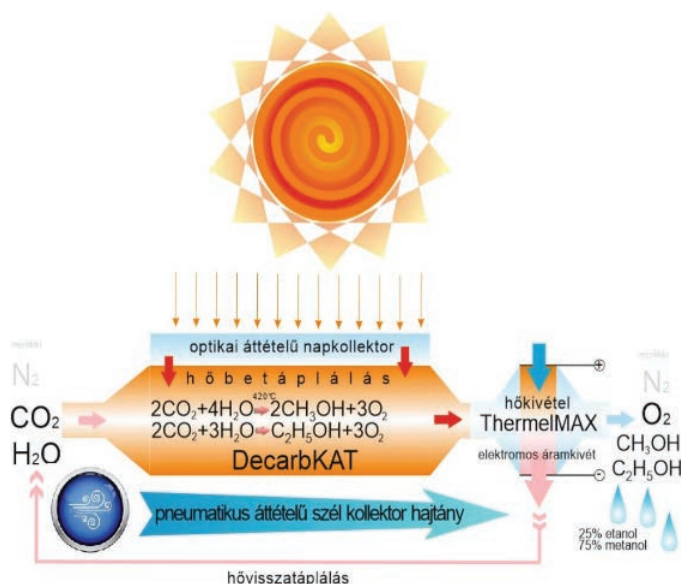
Nincsenek az átlagember napi figyelmének középpontjában, de a hidrogén tüzelőanyagcellás alkalmazások legjobb példáit az anyagmozgató gépeknél és targoncáknál lehetett megfigyelni, 2018. év végére például Észak-Amerikában az ilyen targoncák száma már meghaladta a 20.000 darabot [11].



1. kép. Toyota Mirai tüzelőanyagcellás hidrogénhajtású személygépkocsi [6]

A hidrogén jövőbeli áttörése a közlekedésben

Az előző fejezetekben felsorolásra kerültek azok a tényezők, amelyek miatt a hidrogén végül is nem tudta maradéktalanul betölteni azt a szerepét, melyet számára akár a jogalkotó, akár maga az autóipar vízionált. Most azt próbáljuk bemutatni, mi lehet mégis az a pont, az a felület, ahol a hidrogénnek mégiscsak átütő sikere lehet. Csak nem abban a formában, azaz gáz formájában, ahogyan azt eredetileg gondolták. Megint csak a klasszikusokig kell visszanyúlni, méghozzá Oláh György Professzor kémiai Nobel-díjasunk munkásságáig. Teljesen logikus, ha a hidrogén gázként való alkalmazása nehézkes, szállítása, tárolása túlságosan sok fejlesztést igényel, akkor azt valamilyen jóval stabilabb közegben kell benntartani. Olyan közegben, amely normál környezeti nyomáson és hőmérsékleten minőségvesztés nélkül, korlátlan ideig eltárolható. Olyan formá-



2. ábra. Dekarbonizációs katalizátor modellje széndioxid alkohollá alakítására [12]

ban, amely nem áll teljesen távol a mai töltőállomás hálózatban működtetett eszközszerkezettől, tartály- és egyéb infrastruktúráktól. Ez a közeg pedig nem más, mint a metanol. A mai ismert paradigma szerint 2040 után is lehet belsőégésű motorral szerelt járműveket forgalomba helyezni, működtetésükhöz a szintetikus úton előállított tüzelőanyag használható.

A gondolatmenet tehát nem más, legyen akár a légköri széndioxid, vagy egy erőmű, ipari létesítmény, biogázüzem, esetleg mezőgazdasági termelő vagy feldolgozó a kibocsátó, de a végső cél mindenütt azonos, a belőle eltávozó széndioxidot fel kell fogni és azt megfelelően át kell alakítani metanollá. Azonban, ha az adott emisszió koncentrált összegyűjtését és kémiai átalakításba vezetését megvalósítják, azt mindenképpen megújulókkal termelt energiával szükséges működtetni. A kémiai átalakítás alapját katalitikus folyamatok képezhetik, erre jó példa a fluidágyas katalizátorok széles köre, amelyben Magyarországon komoly tudással, tapasztalattal rendelkező szakemberek csoportjai tevékenykednek.

A végeredményt úgyis a közgazdasági megtérülés teljesülése igazolja csak, azaz sikerül-e a nyersolajhoz, mint kiindulási anyaghoz hasonlóan néhány tíz forintnyi kitermelési költséggel előállítani azt az anyagot, amely utána elbírja a ráterhelődő árrést és a sok száz forintnyi adótartalmat is? Ha a válasz igen, akkor van, lesz miről beszélni a jövőben a hidrogén ilyen közvetett járműhajtóanyagkénti áttörése kapcsán.

Egy ilyen lehetséges légköri széndioxidot begyűjtő és átalakító, ún. „dekarbonizációs katalizátor” koncepciót szemléltet a 2. ábra.

Összefoglalás

Ez a cikk áttekintette a hidrogén felhasználási lehetőségét járműhajtóanyagként, szemlélítve az eddig elért eredményeket, illetve rámutatott arra, miért nem hozta el az eddig várt áttörést ez a kétségtelenül többre hivatott anyag. Ugyanakkor rávilágított arra is, hogy a jövőben éppen a tárolási és szállítási nehézségek miatt, talán nem a gázformátumú alkalmazás kerülhet az alkalmazások célkeresztjébe, hanem a más anyagokba praktikusán a korlátlan ideig normál nyomáson és hőmérsékleten való tárolást lehetővé tevő folyadékok, ezek közül is az alkoholok, különösen pedig az

Oláh György Professzor munkásságát fémjelző metanol lehet a jó megoldás.

Mindenesetre a metanol megtarthatóvá tenné a jelenlegi üzemanyag-töltő állomás rendszert, nem tenné feleslegesen leírandóvá az ottani teljes infrastruktúrát és amennyiben a metanolt légköri vagy más széndioxid emissziókból állítanák elő, akkor mindez megfelelhette a szintetikus tüzelőanyagokkal szembeni elvárásoknak is.

Ennek a területnek a kutatásához számos magyar kutatómunkát lehetne érdemben felhasználni.

Felhasznált irodalom:

- [1] Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council; the Council and the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – The European Green Deal – COM(2019) 640 final, Brussels, 11.12.2019, Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52019DC0640>
- [2] Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council; the Council and the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – A new Circular Economy Action Plan – For a cleaner and more competitive Europe – COM(2020) 98 final, Brussels, 11.03.2020, Forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098>
- [3] Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials, Forrás: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401252
- [4] Magyar Mérnöki Kamara Kiadványsorozata – 55. A hidrogén a környezetbarát energiahordozó; Hidrogén az energetikában – Gáz- és Olajipari Tagozat, MMK FAP azonosító: 2020/101-GOT, 2020. augusztus
- [5] Knezsik István – Autós Nagykoalíció évnyitó szakmai nap, 2025. január 24.
- [6] Toyota Mirai személygépkocsi képe – Forrás: <https://www.toyota.hu/modellek/mirai>
- [7] Autopro.hu – Perlik a Toyotát a hidrogénes autók tulajdonosai – Autopro.hu, 2024. augusztus 19. – Forrás: <https://autopro.hu/trend/perlik-a-toyotat-a-hidrogenes-autok-tulajdonosai/1193221>
- [8] Origo/Üzemanyagcella – Két év múlva már hidrogént is tankolhatunk Magyarországon – 2018.06.01. – Forrás: <https://www.origo.hu/auto/2018/06/hidrogen-konferencia-budapest>
- [9] Kosztolányi Bálint – A hidrogénautókban már a Toyota sem hisz igazán – Világ gazdaság Online, 2025.01.10. – Forrás: <https://www.vg.hu/nemzetkozi-gazdasag/2025/01/hidrogen-toyota-busz-teherauto>
- [10] Portfólió – Elárulta a BMW, mikor kezdi a hidrogénes autók sorozatgyártását – Portfólió, 2024. szeptember 5. – Forrás: <https://www.portfolio.hu/uzlet/20240905/elarulta-a-bmw-mikor-kezdi-a-hidrogenes-autok-sorozatgyartasat-707897>
- [11] Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület – Közlekedési felhasználások – Forrás: <https://www.hfc-hungary.org/kozlekedesi-felhasznalasok/>
- [12] Andó Zoltán Tamás – Légbányagép – A levegő széndioxid tartalmának leválasztása és piacorientált átalakítása alkohollá és karbon alapú szerkezeti anyagokká, nap- és szélhajtánnyal.

Geotermikus energia szerepe a közlekedési infrastruktúra zöldítésében¹

Szolga Larisza

energetikai mérnök MSc hallgató, BME, szolga.larisza@eszk.org

Kustán Réka

BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, kustan@energia.bme.hu

A klímaváltozás elleni küzdelem kiemelt fontosságú cél napjainkban, amelynek elérésében a megújuló energiaforrások és a hidrogén alternatív felhasználása nagy szerepet játszhatnak. Magyarországon a geotermikus energia nagy potenciállal bír, ám elsősorban hőigények kielégítésére alkalmazzák jelenleg. Találhatóak azonban hazánkban olyan geotermikus kutak, amelyek hőmérséklete megfelelő lehet villamosenergia-termelésre is. A geotermikus energiával előállított villamos energiából, elektrolízis segítségével zöld hidrogént tudunk előállítani, amelyet üzemanyagcellás autókban hasznosíthatnánk. Azáltal, hogy a hidrogént megújuló energiaforrásból állítjuk elő, a belsőégésű motoros személygépjárművekhez képest akár 99%-os CO₂-megtakarítást is elérhetünk. Kutatásom során megvizsgálom a már meglévő magyarországi geotermikus kutakat, majd a kiválasztott telephelyekre geotermikus erőművet tervezek. Mindezek után javaslatot teszek a villamos energiából előállított hidrogén szállítására és a potenciális töltőállomások elhelyezésére is.

*

The fight against climate change is a priority today. Renewable resources and alternative uses of hydrogen can play a major role in achieving this goal. In Hungary, geothermal energy holds significant potential, though it is primarily used to meet heat demand. However, there are certain geothermal wells in the country that have suitable temperatures for electricity generation. The electricity produced from geothermal energy can be used to generate green hydrogen through electrolysis, which could then be utilized in fuel cell vehicles. By producing hydrogen from renewable energy sources, CO₂ emissions can be reduced by up to 99% compared to internal combustion engine vehicles. In my research, I analyze the existing geothermal wells in Hungary and design geothermal power plants for selected locations. Furthermore, I propose solutions for transporting hydrogen and recommend potential sites for hydrogen refueling stations.

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap a dekarbonizáció és az elektrifikáció a közlekedésben. A hagyományos elektromos autók elterjedésének azonban korlátot szab a magas töltési idő és a kis hatótáv. A hidrogén üzemanyagcellás autók megoldást nyújthatnak ezekre a problémákra. Számos ország, köztük Magyarország is támogatja ezek elterjedését, és a Magyar Hidrogénstratégia keretében 2030-ra konkrét célokat tűztek ki ezzel kapcsolatban. A hidrogén előállítása környezetbarát módon, megújuló energiaforrások felhasználásával történhet, és Magyarországon a geotermikus energia, mint kiaknázatlan erőforrás, fontos szerepet játszhat a villamosenergia-termelésben.

Geotermia helyzete Magyarországon

A geotermia a Föld belső hőjéből származó megújuló energiaforrás. Ez a hő főként a Föld belsejében történő radioaktív bomlásokból származik, de közrejátszik a Nap melege és az ár-ápanya hatás is. A geotermikus energia számos előnnyel rendelkezik: kis területigényű, valamint termelése nem függ jelentősen az évszaktól, illetve a napszaktól, így folyamatos energiatermelést biztosít. Emellett nem igényel tüzelőanyagot, ami alacsonyabb üzemeltetési költséget eredményez, képes villamos- és hőenergia termelésre, továbbá ezek együttes előállítására.

A geotermikus energia többféleképpen is hasznosítható villamosenergia-termelésre, erre a legelterjedtebb módszer a bináris technológia. Ez a megoldás alacsonyabb entalpiájú hőforrások esetén is alkalmazható és a zárt körfolyamatnak köszönhetően káros anyagot sem bocsát ki a környezetbe. A bináris technológia alapja egy olyan Szerves-Rankine körfolyamat (Organic Rankine Cycle – ORC), ahol a hőforrás egy hőcserélőn keresztül adja át a hőjét egy másik munkaközegnek, amely az energiaátalakítást végzi [1].

Bár Magyarország geológiailag kiváló geotermikus adottságokkal rendelkezik európai szinten is, a geotermikus potenciálja megközelítően 63,5 PJ-ra tehető, azonban az alacsony kifolyó hőmérsékletű víz a legtöbb esetben csak bináris technológiával hasznosítható villamosenergia-termelésre. Hazánkban a geotermikus energiát elsősorban hőigények kielégítésére használják, például távhőszolgáltatásban épületek fűtésére-hűtésére, üvegházak fűtésére, valamint termál- és gyógyfürdők vízellátására. Jelenleg Magyarországon egyetlen geotermikus erőmű található, amely 2017-ben kezdte el a hálózatra termelést, a Pest vármegyei Turán. Az ország geotermikus gradiense megközelítően 45 °C/km, ami azt jelenti, hogy 2000 m földmélységben már a 100-110 °C, de a 120-130 °C-ot is elérheti a vízhőmérséklet. Legjobb adottságokkal az ország déli, dél-keleti része, az Alföld, Paks és környéke, valamint Békéscsaba és környéke rendelkezik [2].

Magyar Hidrogénstratégia, töltőállomások

A hidrogént az előállítás módja szerint különböző színekkel jelölik, amelyek a felhasznált energiaátalakítási technológiákra utalnak. Az egyik ilyen, a kutatás szempontjából kiemelten fontos zöld hidrogén, amely teljes mértékben megújuló energiaforrások felhasználásával készül [3]. Az előállításnak az egyik legegyszerűbb módja az elektrolízis, amelynek során két elektróda közötti feszültség hatására a víz hidrogénre és oxigénre bomlik [4].

A hidrogénnek számos hasznosítási módja van, például nagy mennyiségben alkalmazzák vegyiparban. Energetikailag az egyik hasznosítási mód a földgázrendszerbe való bekeverése, valamint a közlekedés elektrifikációjában is szerepet kap. A jelenleg forgalomban lévő elektromos autók nagy hátránya a rövid hatótáv és a hosszú töltési idő. Ezzel szemben a hidrogén üzemanyagcellás jár-

¹ A cikk a KLENEN '25 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

művek (Fuel Cell Electric Vehicle – FCEV) szintén elektromos motorral működnek, de az energiát elsősorban hidrogén formájában tárolják. A hidrogén az üzemanyagcellában, a fordított elektrolízis elve alapján, reakcióba lép az oxigénnel, és ennek során villamos energiát, hőt és vizgőzt termel [5].

A hidrogén közúti töltőállomásokon keresztül juttatható el a fogyasztókhoz. Magyarországon jelenleg egy, Budapesten található töltőállomás működik, amely 4000 kg hidrogén tankolását teszi lehetővé [6],[7].

A Magyar Hidrogénstratégia célkitűzései szerint az ország 2030-ra évente 36 000 tonna alacsony szén-dioxid-kibocsátású és karbonmentes hidrogént kíván előállítani, amely 20 000 tonna karbonszegény és 16 000 tonna zöld hidrogént jelentene. A közlekedési szektorra vonatkozóan a cél évente 10 000 tonna zöld hidrogén előállítása, amelyet legalább 20 hidrogénállomás között osztanak el. Ezen mennyiségű hidrogén 4800 üzemanyagcellás jármű működését biztosítaná, amely évente 130 000 tonna CO₂-kibocsátás csökkenést jelentene a közlekedési szektorban [8].

Telephely megválasztása

Egy geotermikus erőmű létesítése során a legnagyobb kiadást a kút fúrása jelenti, ezért kutatásom során már meglévő kutakat vizsgáltam. Az egyes magyarországi geotermikus kutak víztani, földtani és geofizikai adatainak meghatározása az OGRE (Országos Geotermikus rendszer) internetes adatbázis [9] alapján történt.

A lehetséges telephelyek kiválasztása és az alkalmazható kutak listájának szűkítése érdekében szükséges volt kritériumok definiálására. A geotermikus kút megfelelő helyszínének kiválasztásához az alábbi kritériumokat határoztam meg:

- Hőmérséklete: minimum 85 °C
- Nagyobb gyorsforgalmi úttól való távolság: maximum 50 km
- Vízhőminőség szempontjából felhasználható
- Visszasajtoló kút elérhető

A kút minőségére vonatkozó követelményeket az erőmű gazdaságossági és műszaki megvalósíthatósága határozta meg, míg az elhelyezkedésnél a hidrogénszállítás ideális távolságát vettem figyelembe.

Az adatgyűjtés eredményeként megfelelőnek ítélt geotermikus kutakat az 1. táblázat foglalja össze.

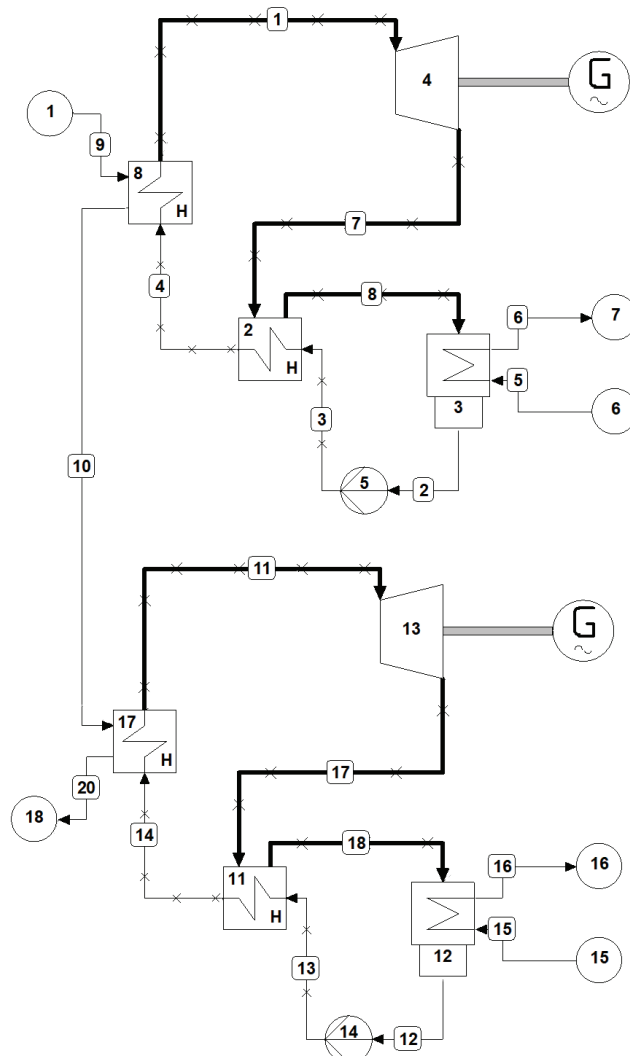
1. táblázat. A kiválasztott lehetséges telephelyek adatai

	Kifolyó víz hőmérséklete °C	Autóút	Visszasajtoló kút
Balotaszállás K-22	101	M5	Balotaszállás K-23
Orosháza K-481	95	M44, M43	Orosháza B-722
Szeged B-474	90	M5, M43	Szeged B-384
Szeged K-452	86	M5, M43	Szeged K-658, Szeged K-682
Zalakaros K-16	86	M76	Zalakomár K-11

Geotermikus erőmű megtervezése

Az erőmű modelljének összeállításához a Cycle Tempo hőszámítói szoftvert használtam, amely képes az energetikai rendszerek modellezésére, leírására és optimalizálására. A modell alapját a Rank. LT4 moduláris ORC (Rank® Organic Rankine Cycle (ORC) Equipment, Spanyolország) adja, amelyet a rendelkezésre álló adatok függvényében módosítottam. A végleges modellben

két különálló ORC egységet alkalmaztam, mert a kút hőtartalma alkalmas volt további villamosenergia-kinyerésre. Az 1. ábra a balotaszállási telephelyre tervezett erőmű Cycle Tempo modelljét mutatja.



1. ábra. ORC modell felépítése

ahol a berendezések:

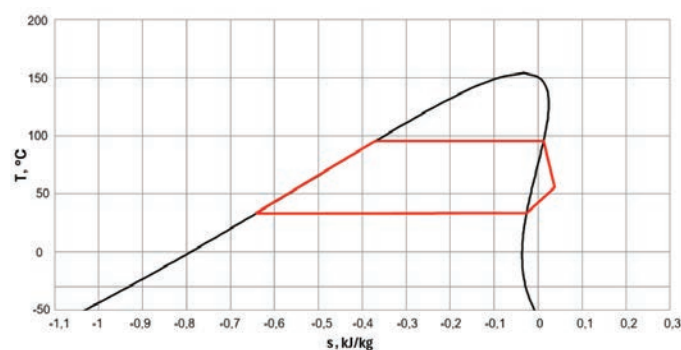
- 1 – hőforrás kút
- 2, 11 – előmelegítő hőcserélő
- 3, 12 – kondenzátor
- 4, 13 – expander
- 5, 14 – szivattyú
- 6, 15 – hűtőkör forrás
- 7, 16 – hűtőkör nyelő
- 8, 17 – elpárologtató
- 18 – visszasajtoló kút

A modellben továbbá figyelembe vettem egyes berendezések hatásfokát is, amelyeket a 2. táblázat foglal össze.

2. táblázat. Berendezések hatásfokai az ORC modellben

	Generátor	Expander mechanikai	Expander izentrópus	Szivattyú mechanikai	Szivattyú izentrópus
Hatásfok	99%	98%	75%	99%	75%

A 2. ábra a körfolyamat hőmérséklet – entrópia diagramját mutatja R245fa munkaközeg alkalmazása mellett.



2. ábra. R245fa T-s diagramja

A 3. táblázat az 1. ábra csöveinek jellemző termodinamikai paramétereit foglalja össze:

3. táblázat. Balotaszállás K-22 kút ORC jellemző termodinamikai pontjai

Cső száma	Nyomás bar	Hőmérséklet °C	Fajlagos entalpia kJ/kg	Fajlagos entrópia kJ/(kgK)	Fajlagos gőztartalom %
1	11,5	95,46	48,73	0,0124	100
2	2	16	-207,26	-0,7176	0
3	11,5	16,47	-206,35	-0,7168	0
4	11,5	45,52	-167,43	-0,5888	0
7	2	55,52	24,19	0,0376	100
8	2	33,29	-14,73	-0,0871	90,11
11	11,5	95,46	48,73	0,0124	100
12	2	16	-207,26	-0,7176	0
13	11,5	16,47	-206,35	-0,7168	0
14	11,5	45,52	5,3	-0,1402	100
17	2	55,52	24,19	0,0376	100
18	2	30,99	-187,46	-0,6508	0

Mivel a geotermikus erőművek nem függenek olyan nagy mértékben az időjárási körülményektől, mint például a szél- és a nap-erőművek, a kihasználási tényezőjük sokkal magasabbnak vehető a számítások során (90%).

Az éves előállított villamos energia mennyiség az (1) egyenlet alapján számítható:

$$E_{vill} = P_{vill} \cdot \Delta t \cdot k_u \quad (1)$$

ahol:

E_{vill} – megtermelt villamos energia, kWh

P_{vill} – teljesítmény, kW

Δt – egy évben eltelt idő = 8760, h

k_u – kihasználási tényező = 0,9

Hidrogén előállítása és vízfelhasználás

Az elektrolizálók technológiai fejlődésének eredményeképp az energiahatékonyságuk folyamatosan javul, 2022-es adatok alapján egy átlagos elektrolizáló 50-55 kWh villamos energiát igényel 1 kg hidrogén megtermeléséhez. Számításaimat így 53 kWh/kg-os energiaigénnyel végeztem el [10].

Mindezek mellett, az elektrolízis kémiai reakciója alapján tudhatjuk, hogy 9 kg vizet kell felhasználnunk 1 kg hidrogén megtermeléséhez, így a napi vízfogyasztási igényeket is megkaphatjuk [11].

A telephelyek éves megtermelt energiamennyiségét, napi megtermelt hidrogénmennyiségét és vízfelhasználását a 4. táblázat foglalja össze.

Tárolók méretezése

Balotaszállás telephely

A napi 285,3 kg hidrogéntermelés figyelembevételével célszerű egy háromnapos tárolási kapacitással számolni, amely alapján a szükséges minimális tárolókapacitás 856 kg-ra becsülhető.

A tartályos hidrogéntárolás esetében a komprimált hidrogén nyomását 150–700 bar tartományban tartják, környezeti hőmérsékleten. Mivel a hidrogéntöltő állomások is 700 bar nyomáson üzemelnek, a számítások során ezt az értéket alkalmaztam, a környezeti hőmérsékletet pedig 15 °C-nak vettem.

A NIST adatbázis segítségével – amellyel különböző anyagok termofizikai tulajdonságait tudjuk meghatározni – kiszámoltam a hidrogén mólra vetített térfogatát a megadott adatokkal, amely jelen esetben 0,0502 l/mol [12]. A mólszámot meg tudjuk határozni a 2. egyenlet alapján:

$$n = \frac{m_{H_2}}{M_{H_2}} \quad (2)$$

ahol:

n – mólok száma

m_{H_2} – hidrogén tömege

M_{H_2} – hidrogén moláris tömege – 2 g/mol

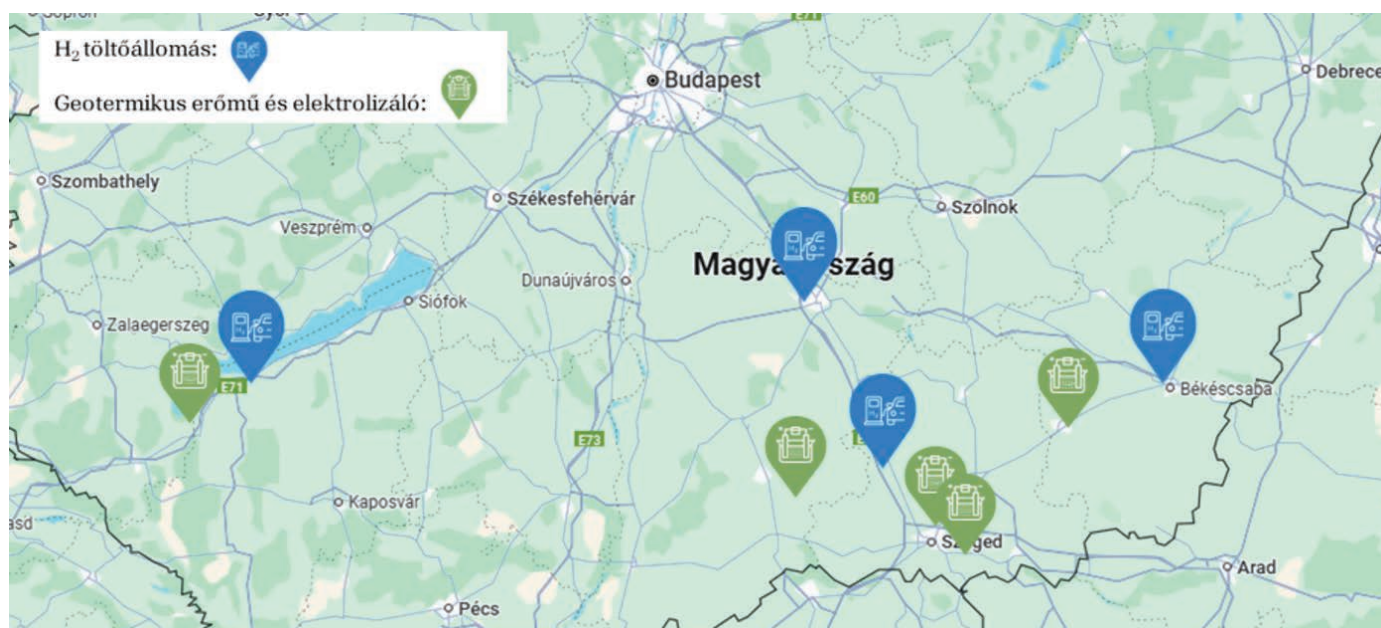
A NIST-ben kapott térfogat és az eltárolt 856 kg hidrogén tömege alapján a szükséges tároló nagysága 21,5 m³.

Szeged, Orosháza és Zalakaros telephely

A telephelyek napi hidrogéntermelése megközelítőleg 163,02 kg, amely alapján egy háromnapos tárolási kapacitás figyelembevételével

4. táblázat. Telephelyek összefoglaló táblázata

	Munkaközeg	Névleges teljesítmény kW	Termelt villamos energia MWh/év	Megtermelt hidrogén mennyiség kg/nap	Felhasznált víz kg/nap
Balotaszállás K-22	R245fa	700	5518,8	385,28	2567,55
Orosháza K-481	R134a	400	3153,6	163,02	1467,17
Szeged B-474	R134a	400	3153,6	163,02	1467,17
Szeged K-452	R134a	400	3153,6	163,02	1467,17
Zalakaros K-16	R134a	400	3153,6	163,02	1467,17



3. ábra. Megtervezett geotermikus energia alapú elektrolizálók és töltőállomások elhelyezkedése

telével 489 kg hidrogén tárolására alkalmas tárolórendszerre van szükség.

Az előző bekezdésekben bemutatott számítási módszert alkalmazva, ezekhez a telephelyekhez 12,3 m³ térfogatú tárolóegységek szükségesek.

Töltőállomások telepítése

Nyugat-Európában az önálló hidrogéntöltőállomások mellett gyakori a hagyományos benzinkutakon az integrált töltőállomások kialakítása. A töltőállomások elhelyezése során ezért ennek mintájára elsősorban autópályák és főbb közlekedési útvonalak mentén elhelyezkedő benzinkutakat választottam, amelyek rendelkeznek a megfelelő üzemeltetési infrastruktúrával, biztonsági előírásokkal, valamint a fogyasztók számára is könnyen megközelíthetőek [13].

A balotaszállási telephelyhez egy M5-ös autópálya melletti kiskunfélegyházi OMV kút, az orosházi telephelyhez az M44-es autótűt melletti békéscsabai MOL kút, a zalakarosi telephelyhez az M7-es autópálya melletti kereszttűri pihenőhely Shell kút, a szegedi telephelyekhez pedig az M5-ös autópálya szatymazi pihenőhelyén lévő benzinkút lett választva.

Az erőművek, elektrolizálók, valamint a H₂ töltőállomások potenciális elhelyezkedését a 3. ábra mutatja be.

CO₂-megtakarítás

A hidrogén szállítása megvalósítható közúton és csővezetékes rendszeren keresztül egyaránt. Amíg azonban a hidrogéntöltő-hálózat nincs kiépítve, a csővezetékes szállítás gazdaságilag nem indokolt a magas beruházási költségek miatt. Jelenleg a hidrogén közúti szállítását nagy kapacitású tartálykocsikkal végzik, amelyekben a hidrogén sűrített vagy cseppfolyósított formában kerül továbbításra a töltőállomásokra.

A szén-dioxid meghatározása során figyelembe vettem az autók üzemanyagának típusát, azok lokális és globális CO₂-kibocsátását. Az összehasonlítás során a benzines, a dízeles, és a hagyományos akkumulátoros elektromos autók kerültek összehasonlításra az üzemanyagcellás autókkal. A hagyományos elektromos autók kibocsátását a magyar energiamix átlagos CO₂-kibocsátásából számítottam. Továbbá az éves megtakarítást az egy nap alatt megtankol-

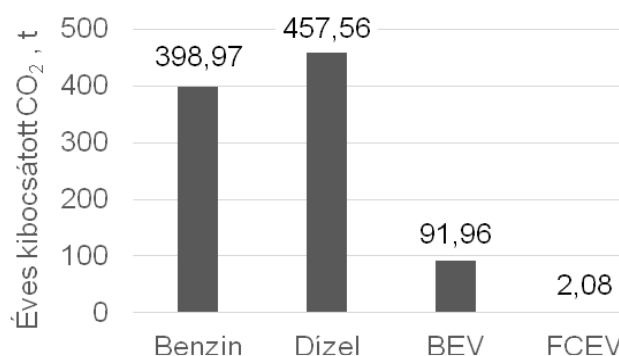
ható autók számára, 186-ra végeztem el, amelyekre feltételeztem, hogy átlagosan 15 000 km-t tesznek meg egy évben [14] [15] [16].

Ahhoz, hogy az FCEV-eknél figyelembe vegyük a tartálykocsi kibocsátását, ismernünk kell az éves megtett utakat, illetve a fogyasztásukat. A tárolási idők miatt, egy évben 122 alkalommal tesz meg a felvázolt útvonalakat. A rövidtávra használt teherkocsi emissziója megközelítőleg 300 g/t-km [17]. Az 5. táblázat a szállításhoz tartozó kibocsátási értékeket tartalmazza.

5. táblázat. Tartálykocsi CO₂ kibocsátása

Telephely	Oda-vissza megtett út, km	Egy évben megtett út, km	Szállított H ₂ mennyisége, t/év	CO ₂ kibocsátás, t/év
Balotaszállítás	114	13 908	0,856	1,190
Orosháza	66	8052	0,489	0,394
Szeged	26	3172	0,978	0,310
Zalakaros	31	3782	0,489	0,185
Összesen				2,079

A 4. ábra a CO₂ kibocsátás alakulását mutatja a különböző üzemanyagú járművek esetében.

4. ábra. Személygépjárművek éves CO₂ kibocsátása

Az eredményeknél fontos kiemelni, hogy a többi hatáshoz képest még a hidrogén szállításának figyelembevételével is elenyésző a CO₂-kibocsátás. Míg a benzines és a dízeles autókhoz képest 99%-os, a hagyományos elektromos autókhoz képest 97,7%-os a CO₂-megtakarítás.

Összefoglalás

A kutatás eredményei összehasonlítva a Magyar Hidrogénstratégia-ban foglalt 2030-as célokkal:

- Cél: A közlekedésre vonatkozóan 10 000 t/év zöld hidrogén megtermelése
A számítások alapján ebből 342 tonna zöld hidrogén lett megtermelve.
- Cél: 20 új töltőállomás létesítése
Bemutattam 4 új lehetséges töltőállomás kijelölt helyét.

A kutatás célja egy olyan modell kidolgozása volt, amely a geotermikus energia és a hidrogén együttes alkalmazásával segíti Magyarország közlekedési szektorának dekarbonizációját. Öt kiválasztott telephelyre geotermikus erőműveket terveztem, amelyek által generált villamos energiából hidrogént állítottam elő. A Balotaszállási erőmű képes évente akár 104 000 kg zöld hidrogén megtermelésére is számításaim alapján. Az 5 megtervezett erőmű és elektrolizáló naponta 186 üzemanyagcellás autó igényeit tudja kielégíteni, amelyek ezáltal akár 400-450 t/év CO₂-t tudnak megtakarítani a közlekedésben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.

Felhasznált irodalom:

- [1] California Energy Commission, "Types of Geothermal Power Plants." Accessed: Apr. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.energy.ca.gov/data-reports/energy-almanac/data-renewable-energy-markets-and-resources/types-geothermal-power>
- [2] Magyar Geotermális Egyesület, "A geotermikus energia hasznosítása Magyarországon." Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available: <https://mgte.hu/a-geotermikus-energia-hasznositasa-magyarorszagon/>
- [3] nationalgrid, "The hydrogen colour spectrum." [Online]. Available: <https://www.nationalgrid.com/stories/energy-explained/hydrogen-colour-spectrum>
- [4] Magyar Hidrogén és Tüzelőanyag-cella Egyesület, "Előállítás, elektrolízis." [Online]. Available: <https://www.hfc-hungary.org/elektrolizis/>
- [5] BMW, "Hidrogén üzemanyagcellás autók." Accessed: Apr. 17, 2024. [Online]. Available: <https://www.bmw.hu/hu/topics/fascination-bmw/how-hydrogen-fuel-cell-cars-work.html#6>
- [6] European Hydrogen Observatory, "Hydrogen Refuelling Stations", Accessed: May 06, 2024. [Online]. Available: <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/hydrogen-landscape/distribution-and-storage/hydrogen-refuelling-stations>
- [7] Hegedűs Gergely, "Új korszak indulhat az energiagazdaságban: megnyílt az első hazai hidrogéntöltő állomás." Accessed: May 06, 2024. [Online]. Available: <https://magyarepitok.hu/energetika/2024/01/uj-korszak-indulhat-az-energiagazdasagban-megnyilt-az-elso-hazai-hidrogentolto-allomas>
- [8] Innovációs és technológiai Minisztérium, "Magyarország Nemzeti Hidrogénstratégiája." Accessed: Mar. 24, 2024. [Online]. Available:

<https://cdn.kormany.hu/uploads/document/6/61/61a/61aa5f835ccf3e726fb5795f766f3768f7f829c1.pdf>

- [9] Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, "Országos Geotermikus Rendszer - OGRE." [Online]. Available: <https://map.mbfisz.gov.hu/ogre/>
- [10] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, "Technical Targets for Liquid Alkaline Electrolysis." [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/technical-targets-liquid-alkaline-electrolysis>
- [11] RMI, "Hydrogen Reality Check: Distilling Green Hydrogen's Water Consumption." Accessed: Nov. 03, 2024. [Online]. Available: <https://rmi.org/hydrogen-reality-check-distilling-green-hydrogens-water-consumption/>
- [12] NIST, "Thermophysical Properties of Fluid Systems." [Online]. Available: <https://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>
- [13] H2 Mobility, "Filling up with H2 - live map." [Online]. Available: <https://h2.live/en/tankstellen/>
- [14] Nowtricity, "Current emissions in Hungary." [Online]. Available: <https://www.nowtricity.com/country/hungary/>
- [15] Electric Vehicle Database, "Energy consumption of full electric vehicles," <https://ev-database.org/cheatsheet/energy-consumption-electric-car>.
- [16] DoneDeal, "Car Mileage & What You Need To Know." [Online]. Available: <https://hello.donedeal.ie/hc/en-us/articles/24005610893457-Car-Mileage-What-You-Need-To-Know>
- [17] The International Council on Clean Transportation, "CO₂ emissions from trucks in the EU: An analysis of the heavy-duty CO₂ standards baseline data." [Online]. Available: <https://theicct.org/publication/co2-emissions-from-trucks-in-the-eu-an-analysis-of-the-heavy-duty-co2-standards-baseline-data/>

Our Earth is a fragile planet that we must work hard to protect for many future generations to enjoy. We can protect our planet only if we work together. I wish you a very successful conference.

Dr. Julian M. Earls, Director, NASA Glenn Research Center



Földünk törékeny bolygó, amelyet kitartó munkával meg kell védenünk a következő generációk számára. Ezt a védelmet csak együttműködve tudjuk biztosítani. Kívánok nagyon sikeres konferenciát.

Dr. Julian M. Earls, Igazgató, NASA Glenn Kutatóközpont

Teljes üzenet és felvétel:
klenen.eu/archiv.html; 2005 Visegrád

2025. május 28-án tartotta Küldöttközgyűlését az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület

Helyszín: Budapest, Szentendrei út 207-209. Jedlik terem, MVM Energetika Zrt.

Molnár Szabolcs főtitkár üdvözölte az 57. Küldöttközgyűlésen megjelent küldötteket és meghívottakat, akiket tájékoztatott arról, hogy a Küldöttközgyűlés levezető elnöki tisztét ő tölti be. Javaslatára a **Mandátumvizsgáló Bizottság elnökének Némethi Balázst és tagjának dr. Zsebik Albint a küldött közgyűlés megválasztotta. Jegyzőkönyv vezetésére Molnár Szabolcs főtitkárt, hitelesítőnek pedig Tompa Ferencet és Kaposvári Reginát választotta a küldöttközgyűlés.**

Némethi Balázs, mint a Mandátumvizsgáló Bizottság elnöke megállapította, hogy 14 küldött jelent meg a Küldöttközgyűlésen, ami önmagában kevés lenne, de mivel ez már a pót időpontra összehívott ülés, így a **Küldöttközgyűlés határozatképes.**

Molnár Szabolcs tájékoztatást adott a megjelenteknek a korábban kiküldött 2024. évi Elnöki beszámolóval kapcsolatban, ismertetve az Egyesület elmúlt évi főbb eseményeit: a márciusban Egerben megrendezett KLENEN konferenciát és a szeptemberi Távhő Vándorgyűlést. Ezek mellett az ETE egy kisebb összeggel támogatta a Magyar Energia Szimpózium megrendezését, valamint közre működött a Magyar Tudomány Ünnepe rendezvénysorozat keretében megrendezett energetikai témákat érintő események szervezésében.

A korábban kidolgozott munkaterv jól működik, a tagokkal a vezetőség továbbra is aktív kapcsolatot tart, ennek fontos tényezője a havonta kiküldött hírlevél, melyben az Egyesület életének fontosabb eseményeiről folyamatosan tájékoztatást kapnak az egyesület tagjai. Valamint továbbra is sikeresen működik nyomtatott formában Egyesületünk szakmai lapja, az Energiagazdálkodás folyóirat.

Pénzügyi helyzetet tekintve a gazdálkodás az emelkedő költségek ellenére is stabil. A bevételek növekedése a szervezett konferenciákon növekvő résztvevőknek köszönhető, így elmondható, hogy aggasztó hiány nélkül sikerült zárni a 2024-es évet.

Molnár Szabolcs ezután felkérte dr. Tóth Tamást, az Ellenőrző Bizottság elnökét a Bizottság beszámolójának megtartására.

Tóth Tamás ismertetve a megjelentekkel, hogy az Ellenőrző Bizottság feladata a törvényes működés nyomon követése és annak vizsgálata, hogy az Egyesület az alapszabály szerint működik-e. Felhívta a vezetőség figyelmét arra, hogy a Bizottság három tagjából egynek sajnos egészségügyi gondok miatt fel kellett függeszteni a tevékenységét az idei évtől, így fontos, hogy az Elnökség a harmadik tag pótlásáról gondoskodjon.

Tóth Tamás elmondta, hogy az Egyesület Elnöksége aktívan ülésezett 2024-ben, a főtitkár és a Titkárság munkája átlátható és színvonalas. A 2024-es munkatervben foglaltak nagyrésze teljesült, a 2025. évre megfogalmazott szakmai célkitűzések, tervezett rendezvények, a szervezet működésének javítására kitűzött intézkedések összhangban vannak az Egyesület Alapszabályában rögzített céljaival. Az EB kiemelten fontosnak tartja az Egyesület szakmai munkájának további erősítését, különösen a szakosztá-

lyok támogatását, aktivitásuk fokozását. Külön hangsúlyos feladatnak tartja továbbra is az egyesület szakmai közéleti „láthatóságának” növelését, ennek részeként a konferenciák szervezését és az egyesület tagjainak aktívabb bevonását a szakmai munkába.

Az EB javasolja az ETE 2024. évi egyszerűsített beszámolójának 48 458 E Ft mérleg főösszeggel és – 2 127 E Ft adózás utáni veszteséggel való elfogadását, valamint a beszámoló jogszabály szerinti határidőben történő nyilvánosságra hozását.

Az ETE eszközeinek/forrásainak értéke, azaz mérlegfőösszege (vagyon) 48 458 E Ft, amely közel 3,5%-kal alacsonyabb a bázis értékénél. Ez az abszolút értékben 1,7 M Ft-os csökkenés nem nevezhető jelentősnek, a mértéke jelentősen a bázis szint alatt maradt.

A Saját tőke értéke a bázishoz képest mintegy 2 M Ft-tal (4,6%-kal) csökkent, a tőkeváltozás mértéke a 7,6 M Ft-os induló tőkéről az azóta eltelt időszak eredményes gazdálkodásának következtében jelenleg több mint 39 M Ft, amelyet a tárgyidőszaki 2 M Ft-ot meghaladó veszteség ugyan némileg csökkent, de a saját tőke nagysága így is megközelíti a 45 M Ft-ot.

Az EB a 2025. évi pénzügyi tervet elfogadásra javasolja azzal a kitételrel, hogy a feszes költségvetésre tekintettel, az Elnökség fokozott figyelmet szenteljen a pénzügyi folyamatok nyomon követésének, tegyen erőfeszítéseket az egyesület promóciója révén az ENGA előfizetői számának és hirdetésállományának növelésére, valamint további támogatások megszerzésére.

Az Egyesület 2025. évre vonatkozó pénzügyi terve 15 750 E Ft bevétellel számol, valamint 15 950 E Ft összegű költséggel, így ezeknek az eredője mindössze 200 E Ft veszteség. Emlékeztetőül, az Egyesület nem törekszik feltétlenül nyereségre, legfeljebb a működését veszélyeztető veszteség elkerülésére. A Küldöttközgyűlés az Ellenőrző Bizottság jelentését egyhangúlag elfogadta. **A Küldöttközgyűlés az Elnöki beszámolót és az ETE 2024. évi egyszerűsített beszámolóját 48 458 E Ft mérleg főösszeggel és –2 127 E Ft adózás utáni veszteséggel egyhangúlag elfogadta.**

Ezután Molnár Szabolcs tájékoztatta a megjelenteket az Egyesület 2025. évi munkatervével kapcsolatban. Az ETE 2025. évi munkatervét az elmúlt években meglévő irányelveink mentén alakította ki: nagy hangsúlyt fektetve szakmai gyarapodásra, az ifjú energetikusok bevonására és a más partner szervezetekkel való együttműködésre. A szokásos módon idén tavasszal került megrendezésre a KLENEN konferencia, mely már hosszú évek óta színvonalas, sokak által látogatott szakmai esemény.

Az ETE őszi nagyrendezvénye a Távhő Vándorgyűlés, melyet a Hőszolgáltatási Szakosztály rendez. A vándorgyűlés már sok éves múltra tekint vissza. Emellett az őszi félévben kerül megrendezésre a Nemzetközi Gázkonferencia is, melynek szakmai munkájában az ETE Gázszakosztálya végez fontos munkát. Az őszi időszakra további több terv is van, melyeknek még egyelőre egyeztetés alatt vannak a pontos adatai. A tavalyi évben tartott nukleáris jogi konferencia visszajelzései alapján az idei évben tervezett egy hasonló rendezvény megvalósítása, amelyre a tervek szerint Mis-

kolcon kerül megrendezésre, várhatóan novemberben. A Debreceni Egyetem Műszaki Karán szakmai napra kerül majd sor hallgatók bevonásával, ennek időpontja október vége/november eleje lesz. Az Energiahatékonysági Szakosztály tervez két további szakmai napot, az egyiket a tavaszi, a másikat az őszi félévben. A Megújuló Energia Szakosztály a tavalyi évben sikeres vizes tematikájú szakmai napot tartott, melyet idén megismételni terveznek, valamint szeretnének egy tiszta energiával foglalkozó napot is rendezni, melyet a Paks II. is támogatna. A nagy egyesületi rendezvényekhez kapcsolódóan kisebb rendezvények is várhatóak, az Egyesület munkacsoportjai is több szakmai rendezvény megrendezését tervezik.

Bajcs József felhívta a figyelmet a Nukleáris Társasággal való együttműködés fontosságára. Némethi Balázs elmondta, hogy Egyesületünk Hőszolgáltatási Szakosztálya idén ünnepli megalakulásának 60. évfordulóját, a Távhő Vándorgyűlésen erről is meg fognak emlékezni.

Egyesületünk Szenior Klubja a járványhelyzet következtében szüneteltetni kényszerült működését, ezt mindenképp szeretnének újra életre keltetni, talán a MEE-vel közösen fog ez megvalósulni.

Főtitkár Úr a pénzügyi tervet annyival egészítette ki, hogy a legnagyobb kiadást Egyesületünk részére az Üllői úti iroda fenntartása jelenti, ennek költségeit igyekszünk csökkenteni. Emellett nagyon fontosnak tartjuk, hogy Egyesületünk folyóiratát, az Energiagazdálkodást továbbra is papír alapon adjuk ki, ennek a költségei is jelentős mértékben megnövekedtek. A tagdíjbefizetési

magatartás sajnos a gazdasági helyzet miatt egyre rosszabb, de a támogatások és a sikeres rendezvények bevételei egyensúlyozzák a kiesést, így pénzügyi helyzetünk stabilnak mondható. **A Küldöttközgyűlés a 2025. évi munkatervet és a pénzügyi tervet egyhangúlag elfogadta.**

Az tavalyi év lezárása és az idei év megtervezése után sor került a szakmai előadás megtartására, melyet Dr. Kiss Csaba elnök úr tartott meg az MVM Zrt. munkájáról.

Következő napirendi pontként sor került Egyesületünk által adományozott elismerések átadására: Egyesületünk Díjbizottsága Némethi Balázs részére adományozott Segner János András-díjat, Hupuczai Ádám pedig Energiagazdálkodásért kitüntetést vehetett át.

Az elismerések átadása után egy örömteli esemény maradt csak hátra: az ETE alapszabálya szerint a Küldöttközgyűlés az Elnökség javaslatára meghatározatlan időre Tiszteletbeli Elnököt választhat az Egyesület szakterületén kimagasló tudományos, illetve szakmai eredményeket elért szakember személyében. Az Elnökség ezért javaslatot tett Bakács István, az ETE korábbi elnökének tiszteletbeli elnökké történő megválasztására. **A Küldöttközgyűlés Bakács Istvánt az Egyesület tiszteletbeli elnökévé egyhangúlag megválasztotta.**

A színvonalas szakmai előadás után a levezető elnök megköszönte a megjelentek közreműködését és berekesztette a 2025.évi Küldöttközgyűlést.



ETE 2025. évi díjazottjai

Segner János András-díjban részesült Némethi Balázs

Némethi Balázs a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán szerzett okleveles épületgépész-mérnökdiplomát 1997-ben, majd az I. épületgépészeti Tanszéken PhD hallgató 2000-ig, ahol főként hőközpontok üzemviteli méréseinek témakörével foglalkozott. A Budapesti Távhőszolgáltató Rt-nél 2000-ben kezdett dolgozni műszaki fejlesztőként. Közreműködött a társasági műszaki koncepciók kidolgozásában, műszaki irányelvek és előírások készítésében, új műszaki megoldások kifejlesztésében, aktuális műszaki-gazdasági vizsgálatok elvégzésében, laboratóriumi, üzemi mérések lefolytatásában, a hőközponti berendezések közbeszerzéséhez kapcsolódó műszaki követelményrendszer megalkotásában, valamint a lakóépületek HMV-fogyasztásának leírására alkalmas méretezési eljárás kidolgozásában. 2008-tól hőszolgáltatási műszaki munkatársként részt vett a távhőellátó rendszerek egészét érintő energetikai, technológiai és gazdaságossági vizsgálatokban, ezen belül kiemelten a hőközponti és szekunder oldali technológiában. Feladattá képezte felhasználói tulajdonú fűtési rendszerek rekonstrukciós program (ÖKO Plusz Program) szakmai előkészítése, folyamatos szakmai támogatása, energetikai értékelése is.

2011-től a társaság Energiagazdálkodási osztálya csoportvezetőjeként távhőrendszerek üzemének rendszerszintű monitoring tevékenységét, a távhő-technológiai fejlesztési, egységesítési tevékenységét végző rendszerirányítási csoport munkájának irányítását végezte. Vezetői szerepe volt a FŐTÁV hőközpont-fejlesztési stratégiájának, a hőközponti távfelügyeleti rendszer bevezetésének műszaki követelményrendszerének kidolgozásában. Részes volt az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló rendelet – távhő rendszert érintő – módosítását megelőző egyeztetésekben.

2015. áprilisától az Energia- és üzemvitel irányítási igazgatóság osztályvezetője. Kiemelkedő feladata közreműködni a FŐTÁV (2023-tól BKM Budapesti Közművek Nonprofit Zrt.), távfelügyeleti, irányítás-technikai vonatkozásait érintő – első rendszerszintű – hőkooperációs rendszerének kialakításában. Vezetői hatáskörébe tartozik továbbá a távfelügyeleti tevékenység szervezése, folyamatainak irányítása, felügyelete, a távfelügyeleti rendszerek működtetésére, fejlesztésére irányuló tevékenységek koordinálása, tervezése és felügyelete is.



Némethi Balázs

Munkája mellett aktívan részt vesz a szakmai közéleti munkában. A MATÁSZSZ Műszaki Bizottság tagja, 2024-től titkára, az ETE Hőszolgáltatás Szakosztály titkára 2022-től. Rendszeresen tart előadásokat a szakmai fórumokon, konferenciákon. Részt vesz a BME Gépészmérnöki Kar épületgépészeti és energetikai képzések egyes tárgyainak oktatásában. A korábbi tevékenységeit Egyesületünk vezetése 2016-ban „Energiagazdálkodásért”, 2020-ban „Szikla Géza Díj” kitüntetéssel ismerte el.

Energiagazdálkodásért díjban részesült Hupuczai Ádám

Hupuczai Ádám a Pécsi Tudományegyetem Műszaki és Informatikai Karán szerzett gépészmérnök, épületgépész diplomát 2013-ban és a Pipeline Épületgépészeti tervező Kft.-nél kezdte mérnöki munkáját. 2015. évtől a Salgótarjáni Vagyonkezelő és Távhőszolgáltató Kft. műszaki előadója, 2022. évtől műszaki vezetője. Főállású munkája mellett 2019-től egyéni vállalkozóként épületgépészeti tervezéssel is foglalkozik.

A Távhőszolgáltató tevékenységi köréhez tartozó technológiai rendszerek és egységek műszaki fejlesztési, felújítási és karbantartási folyamatainak szervezési, irányítói, koordináló tevékenységei teszik ki szakmai feladatai nagy részét. Tervezőként főbb projektjei a Salgótarjáni Onkológiai Intézet légtechnikai rendszerének, a Rétsági Bölcsőde épületgépészetének, a Rétsági Általános Iskola bővítés épületgépészetének, a Mátranovák Főzőkonyha felújításkor a légtechnika rendszernek és az Érsekudvarkerti Húsbaromfi telep épületgépészeti tervezése. További tervezői feladatokat végzett a Salgótarjáni Wamsler SE Rt. – Zománczó üzem energiahatékonysági javításában és a Drégelypalánkai, SUNBLOOM HUNGARY KFT – gyártócsarnokbővítésben is.

Üzemeltetőként a Salgótarjáni távhőhálózat, a szigetüzemű kazánházi technológiák, a Salgótarján Ady Endre úti 880 kW kazánház felújítása, a 6,4 MW-os Beszterce úti kazánház felújítása, és közművezeték cserék, előszigetelt távfűtési vezeték szakaszok kialakítása projektek menedzselését végezte.

Szakmai tapasztalata és kommunikációs készsége tükröződik a Hőszolgáltatási Szakosztályban végzett aktív munkájában a szakosztály támogatásában.



Hupuczai Ádám

ETP

Energy TechnoPlus

BONTHATÓ SZIGETELÉSEK

Előnyök:

- Könnyű kezelhetőség
- Magas hatásfok
- Magyar termék
- 5 év garancia



Javasolt alkalmazási területek:

- Kalorikus rendszer szerelvényei
- Hőcserélők, pasztörizáló berendezések
- Autoklávok, desztilláló tornyok
- Szárító és hőkezelő berendezések
- Kazánok, kemencék
- Fröccsöntő gépek, extruderek

ETP

ENERGY TECHNOPLUS

info@etpkft.hu
www.etpkft.hu

Gyors megtérülés:

GŐZRENDSZEREKEN, FOLYAMATOS ÜZEMBEN, <0,4 ÉV

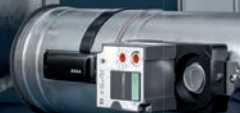
Méret (DN)	Energia megtakarítás (GJ/év)	Költség megtakarítás (eFt/év)	Fejlesztési költség (eFt)	Egyszerű megtérülés (év)
25	7,7	92,5	18	0,19
50	12,7	152,3	24	0,16
100	24,5	293,5	44,5	0,15
150	41,8	502,1	62,9	0,13

Az EKR rendszerben elszámolható**FläktGroup**

A beltéri levegőminőség velünk kezdődik!

A FläktGroup több mint 100 éve, az 1909-es kezdetektől fogva folyamatos figyelmet fordít a minket körülvevő környezetre valamint a körülöttünk élő emberekre.

Korszerű, energiahatékony szellőztetési megoldásokat tervezünk és gyártunk, melyeknek célja, hogy biztonságosabbá, egészségesebbé és kényelmesebbé tegyük a belső tereket, ahol időnk nagy részét töltjük – függetlenül attól, hogy termékeink szem előtt vannak-e, vagy sem.

> info: www.flaktgroup.com

KLENEN'25

2025. MÁRCIUS 5-6,
HOTEL EGER&PARK,
EGER

„Osszuk meg tapasztalatainkat, dolgozzunk együtt
a természet egyensúlyának megőrzéséért”

Az energiahatékonysági kötelezettségi rendszer működtetésének
tapasztalatai – az elszámolható energiamegtakarítás
meghatározása, hitelesítése és forgalmazása

A sorozat folytatódik:

KLENEN'26

2026.
MÁRCIUS 11-12.

KLÍMAVÁLTOZÁS ENERGIATUDATOSSÁG ENERGHATÉKONYSÁG
XXI. KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

JELENTKEZÉSI HATÁRIDŐK:

Előadás tartására: 2025. október 15.

Kiállításra és termékbemutatóra: 2026. január 15.

A konferenciára: 2026. január 31.

További információ és jelentkezés:

www.klenen.eu és klenen@congress.hu



aeecenter.org



ete-net.hu



eszk.org



mekh.hu



bpmk.hu



bkik.hu



mee.hu



zerocarbonhub.hu

Médiapartnereink:

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

innotéka
tudomány - innováció - üzlet