

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

62. évfolyam 2021. 6. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Kellemes Karácsonyi ünnepeket,  
és Boldog új évet kívánunk!



Megtakarítjuk az energiáját.

## Szolgáltatásaink

Energetikai audit • CO<sub>2</sub> megtakarítási projektek • Energetikai szakreferens  
LEAN folyamatfejlesztés • ISO 50001 bevezetés, támogatás • Oktatás, szemléletformálás  
Energetikai veszteségfeltárás • Energetikai K+F+I projektek • Műszeres mérés  
Társasági adó (TAO) igazolás • Épületenergetikai tanácsadás • EKR tanácsadás és igazolás

[www.alfaped.hu](http://www.alfaped.hu) • +36 30 alfaped • [info@alfaped.hu](mailto:info@alfaped.hu)

## ETE VIII. Villamos Energia Konferencia

Kecskemét, 2022. február 17-18.

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület (ETE) két évtizede évente szervez szakmai konferenciákat az energiagazdaság aktuális kérdéseiről „Vitassuk meg a jövőnket” mottóval. E sikeres konferenciasorozatokon a szakma legismertebb szakértői, vezetői és kutatói néhány tematikus bevezető előadás után vitatkoznak a napirenden szereplő kérdésekről, s a közönség is aktív részt vállalhat a vitákban. Egyesületünk célja, hogy a viták során lehetőleg alakuljon ki egy olyan összkép, amely alapján konkrét cselekvési irányok határozhatók meg.

A koronavírus járvány miatt némi kihagyással szervezett rendezvény – amely az ETE VIII. Villamos Energia Konferenciája – témája a villamos energia ellátásunk jövőképe. Az elmúlt 2-3 év során világszerte forradalmi változások vannak folyamatban a villamosenergia-iparban. Napjainkban a világpolitikában, a gazdaságban a klímaváltozás a legfontosabb feladat illetve kihívás. E korszakos átmenetnek fő szereplője és egyben katalizátora a villamosenergia-ipar. Az Európai Unió a klímaváltozás elleni harcban, az energegetika átalakításában úttörő és vezető szerepre tör. A 2021-ben bemutatott „Irány az 55” csomag számos – az eddigieket is meghaladó kihívást jelent.

Ugyanakkor sokan úgy véljük, hogy a kitűzött célok túlpolitizáltak és az ellátás biztonsága is veszélybe kerülhet meggondolatlan a hatásvizsgálatokat sokszor nélkülöző döntések mellett, emiatt fel kell hívnunk a figyelmet a töretlen, de fokozatos átmenet fontosságára.

Konferenciánkon a bevezető áttekintő nyitó ülést követő szekciókban interaktív módon kívánjuk áttekinteni a villamosenergia értéklánc mentén az előttünk álló évek kihívásait a ma problémáit – természetesen hazai szempontból.

Reméljük, hogy a járványügyi helyzet lehetővé teszi a rendezvény megtartását – amelyet a mindenkorai előírások mellett szervezünk meg. Amennyiben a most tervezett időpontban a konferenciát nem tudnánk megrendezni, azt – 2022 folyamán – egy későbbi időpontban tartjuk meg.

**Reméljük, hogy a fenti témakörökben elhangzó előadások és viták felkeltik érdeklődésüket és köszönhetjük Önt és munkatársait konferenciánkon.**

Bakács István az ETE elnöke

A konferenciáról részletes információ és tájékoztatás kérhető a [vek2022@congress.hu](mailto:vek2022@congress.hu) címen, vagy a +36 30 639 0909 telefonszámon

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

62. évfolyam 2021. 6. szám

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. Csűrök 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:

Bakács István, 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: [enga@ete-net.hu](mailto:enga@ete-net.hu)

Megjelenik kéthavonta.  
Előfizetési díj egy évre: 4200 Ft  
Egy szám ára: 780 Ft

Előfizethető a díj átutalásával a 10200830-32310267-00000000 számlaszámra a postázási és számlázási cím megadásával, valamint az „Energiagazdálkodás” megjegyzéssel

ISSN 0021-0757

## Tipográfia:

Büki Bt.  
[bukiandras@t-online.hu](mailto:bukiandras@t-online.hu)

## Nyomdai munkák:

EFO Nyomda  
[www.efonyomda.hu](http://www.efonyomda.hu)

Lapunkat rendszeresen  
szemléli a megújult

 OBSERVER

[www.observer.hu](http://www.observer.hu)

## TARTALOM • CONTENTS • INHALT

<b>Tudomány * Science * Wissenschaft</b> <i>Prof. Dr. Imre Attila, Kummer Kristóf</i> Szezonális és hosszútávú energiatarolási lehetőségek <i>Seasonal and long-term energy storage options</i> <i>Saisonale und langfristige Energiespeicheroptionen</i>	2	<b>Környezetvédelem * Environmental Protection * Umweltschutz</b> <i>Szilágyi Zsombor</i> A környezetvédelem és a megújuló energiahordozók <i>Environmental protection and renewable energy sources</i> <i>Umweltschutz und erneuerbare Energiequellen</i>	24
<i>Dr. Domán Andrea, Hancz Aliz, Samantha K. Samaniego A., Prof. Dr. László Krisztina</i> Gáztárolás adszorpció elven? <i>Gas storage based on adsorption principle?</i> <i>Gasspeicherung nach dem Adsorptionsprinzip?</i>	9	<b>Földgáz * Natural Gas * Erdgas</b> <i>Valcz Gyula</i> A metánhidrát <i>The methane hydrates</i> <i>Das Methanhydrat</i>	28
<b>Klímaváltozás * Climate Change * Klimaveränderung</b> <i>Reményi Károly</i> Szén-dioxid Pandémia <i>Carbon Dioxide Pandemic</i> <i>Kohlendioxid Pandemie</i>	12	<b>Virtuális erőmű * Virtual Power Plant * Virtuelles Kraftwerk</b> A Virtuális Erőmű Program 10. éves jubileumi Parlamenti díjátadó Gala <i>The 10th annual Parliamentary Awards Gala of the Virtual Power Plant Program</i> <i>Die 10th Annual Parliamentary Awards Gala des Virtual Power Plant Program</i>	37
<i>Szilágyi Zsombor</i> A megújuló energiahordozók és a légkörvédelem <i>Renewable energy sources and atmospheric protection</i> <i>Erneuerbare Energiequellen und Luftschutz</i>	19	<b>Hírek * News * Nachrichten</b> Magyar Kapcsolt Energia Társaság XXIV. éves konferencia <i>Hungarian Cogeneration Association 24th Annual Conference</i> <i>Ungarische KRAFT-Wärme-Kopplungs Verband 24. Jahreskonferenz</i>	40
<i>Wiegand Győző</i> A szén-dioxid kibocsátás megszüntetéseinek lehetőségei, hatásokok, költségek <i>Possibilities, efficiency, and costs of eliminating carbon dioxide emissions</i> <i>Möglichkeiten, Effizienz und Kosten der Eliminierung von Kohlendioxid-Emissionen</i>	21		

A folyóirat szerkesztésénél különös figyelmet fordítottunk a környezetvédelmi szempontokra!

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

# Szezonális és hosszútávú energiatárolási lehetőségek

Prof. Dr. Imre Attila<sup>1,2</sup>

egyetemi tanár, tudományos tanácsadó, imreattila@energia.bme.hu

Kummer Kristóf<sup>1,2</sup>

MSc hallgató, EK<sup>2</sup> ösztöndíjas

<sup>1</sup> BME GPK Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

<sup>2</sup> Energiatudományi Kutatóközpont

**Az energiatárolás egyik célja az időjárásfüggés miatt ingadozó energiatermelés és a szintén ingadozó igények közti különbség kiszolgálása. Az egy napon belüli, napi szintű, illetve heti szintű tárolási feladatokra mind időtartamban, mind kapacitásban jól használhatók az akkumulátoros rendszerek. Szezonális és ennél is hosszabb, éves-több éves tárolásnál viszont ezek a típusok nem megfelelőek. Bemutatjuk, hogy melyek azok a szempontok, amik alapján a hosszútávú (féléves-többéves) energiatárolásban az úgynevezett Power-to-Methane alapú technológia jobb lehet a többi, ma ismert és piacképes módszereknél.**

\*

**One of the goals of energy storage is to reduce the imbalance between energy production that fluctuates due to weather dependence and the also fluctuating energy demand. Battery systems can be used for day-to-day, daily and weekly storage tasks in terms of duration as well as storage capacity. However, for seasonal and even longer, year-to-year storage, these types are not suitable. We present several aspects to show the conditional superiority of the Power-to-Methane-based energy storage technology in long-term (half-to-several years) energy storage over some of the other commercially available storage methods.**

\*\*\*

## Rövid és hosszútávú energiatárolás

Az energiatárolás célja, hogy a fel nem használt villamos energiát valamilyen formában eltároljuk, majd később felhasználjuk. Ez a felhasználás történhet úgy, hogy visszanyerjük a betárolt villamos energia visszanyerhető részét és azt használjuk fel, de egy jogszabály-változás miatt az is energiatárolásnak számít, ha az energia betárolásakor előállított közti terméket (pl. hidrogént) üzemanyagként használjuk fel [1]. A jelenlegi cikkben csak azzal a változattal foglalkozunk, ahol mind az input, mind az output villamos energia lesz; az üzemanyagként való felhasználhatóságot csak mint extra lehetőséget említjük meg ott, ahol ez releváns.

A tárolás sokféleképp történhet [2,3,4]; legegyszerűbbnek talán az tűnne, hogy a villamos energiát változtatás nélkül, villamos energiaként tároljuk el (szuperkondenzátorokban vagy szupravezető gyűrűben), de ezek a megoldások általában költségesek és viszonylag kis tárolókapacitásúak.

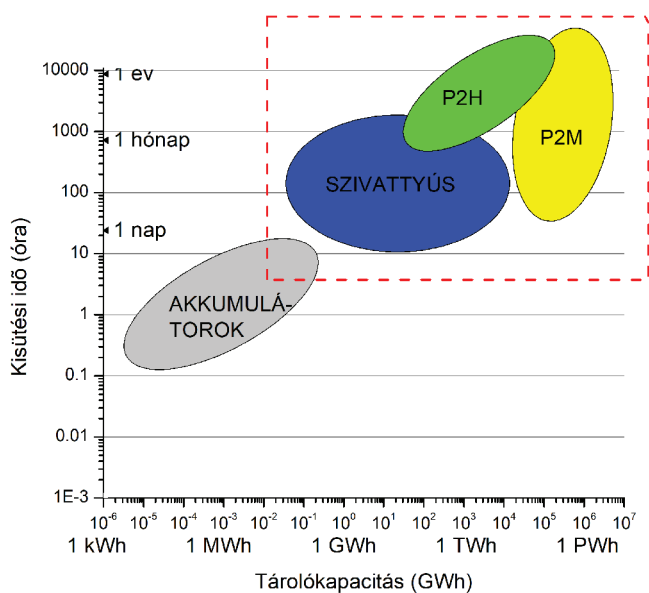
Szerencsére vannak más, kevésbé költséges és/vagy nagyobb tárolókapacitású megoldások is, ezeknél viszont a villamosenergiát először át kell alakítani egy más energiaformává, majd visszaalakítani; ez az oda-vissza alakítás veszteséggel jár és speciális berendezés vagy berendezések kellene hozzá. Az egyik ilyen módszer a mechanikai energiatárolás, amikor a tárolandó villamos energiát vagy helyzeti (pl. szivattyús viktározók), vagy mozgási (pl. lendkeres tározó) alakítunk át, majd ezt a helyzeti vagy mozgási energiát generátorok segítségével visszaalakítjuk villamos energiává. Ugyancsak megoldható az energiatárolás kémiai úton is; ekkor a

villamos energia felhasználásával üzemanyagot állítunk elő, vagy egy, már létező üzemanyag energiatartalmát növeljük. Ennek talán legismertebb formája a hidrogén előállítása elektrolitikus vízbontással; itt a keletkező hidrogénből a villamos energia, például üzemanyagcella alkalmazásával nyerhető vissza. Szintén kémiai módszer, de történelmi és technológiai okokból külön kategória az elektrokémiai tárolás, amikor villamos energia segítségével, egy elektrokémiai folyamatban egy reverzibilis elektrokémiai folyamat energiát tárolhatunk el, majd a folyamatot megfordítva a tárolt energiát – vagy legalábbis nagyrészt – kinyerjük. Ilyen elven működnek az akkumulátorok. Meg kell említenünk még az úgynevezett hőtárolókat; a hőtárolást nem szokták az energiatároláshoz sorolni, mert általában sem a bemenő, sem a kimenő „termék” nem villamos energia. Napjainkban ez változik; előfordul, hogy akkora a villamosenergia-túltermelés, hogy megéri belőle hőt előállítani és azt később felhasználni (ekkor az input már villamos energia). Ekkor lehetséges – bár csak alacsony határfokkal – hogy a hőből később újra villamos energiát állítsanak elő, pl. egy szerves Rankine ciklusú berendezés beiktatásával [5].

Az energiatárolásra leginkább az időjárásfüggés miatt ingadozó energiatermelés és a szintén ingadozó igények közti különbség kiegyenlítése miatt van szükség. Mint ezt az EUROSTAT adataiból Hiesl és szerzőtársai megmutatták [6], az EU-28-on belüli megújuló alapú villamosenergia-termelés (a hagyományos típusú vízi energiát leszámítva) súlya 1%-ról 20%-ra nőtt. Az adott időszakban arányaiban a legnagyobb növekedés a napenergia-alapú (PV) termelésnél volt, míg 2018-ban a legnagyobb súlya a hazánkban kevésbé jelentős szélenergiának volt. Ezeknél a megújulóknál (biomassza, biogáz, bio-folyadék és egyéb bio-eredetű hulladék, szélenergia (off- és on-shore típus), árapály, geotermikus), valamint a felmérésben figyelmen kívül hagyott hagyományos – azaz folyókra épített – vízenergia esetében majdnem mindig megfigyelhető valamilyen időjárásfüggés. Ez a nap- és szélenergiánál akár rövid távon is nagy termelés-beli változásokat okozhat, de más esetekben is megfigyelhető hosszabb távú függés. Így pl. a biológiai eredetű anyagoknál az alapanyagok megtermelése (ennek mennyisége, minősége) függ szezonális szinten az időjárástól, míg a hagyományos vízenergiánál szintén a hetes-hónapos, illetve szezonális időjárás (esőzés, aszály) hat a termelésre. Meglepő, de még a geotermikus alapú villamosenergia-termelésnél is van időjárás-függés; pl. az ilyen hőforrásoknál gyakran használt ORC-alapú erőműveknél a kondenzátor hőmérsékletét és ezen keresztül az egész berendezés hatásfokát a levegő vagy a felszíni vizek időjárásfüggő változása. Amikor időjárásfüggés miatti tárolási vagy kiegyenlítési problémákról beszélünk, hajlamosak vagyunk az egy napon belüli (pl. felhő a nap előtt), napi szintű (éjszaka nem termel a napelem), illetve heti szintű (szombat-vasárnap sok ipari felhasználó fogyasztása leesik) megoldásokra gondolni. Az ilyen tárolási feladatokra (mind időtartamban, mind kapacitásban) jól használhatók az akkumulátoros, pl. Li-ionos rendszerek. Amennyiben viszont már szezonális (téli-nyári



termelési és fogyasztási különbségek miatti), vagy esetleg hosszabb távú (több éves) tárolásra van szükség – azaz a feladat a tényleges tárolás, nem az aktuális ingadozások kiszabályozása – ezek a tárolási típusok nem megfelelőek. Ennek egyik oka az önkisülésük, ami miatt a bennük tárolt energia folyamatosan csökken, másrészt pedig a szezonális vagy éves szintű tároláskor előforduló tárolási kapacitás-igények. A tárolási kapacitás függvényében gyakran adják meg, hogy egy adott tárolási módszer jelenleg piacon levő típusai meddig lennének képesek folyamatosan ellátni a hozzájuk kapcsolt fogyasztót; egy ilyen diagram látható az 1. ábrán. Ebben az esetben a kimenő teljesítményt általában nem definiálják, pedig nem mindegy, hogy egy kis lakóházat, vagy egy teljes ipartelepét kell az adott tárolónak ellátnia. Általában azt feltételezik, hogy az adott tárolók már használatban levő példányainál használt visszaalakítási megoldáshoz tartozó maximális, vagy ahhoz közeli teljesítmény a kijövő teljesítmény; az ebben rejlő bizonytalanságot jól elrejteti a diagram dupla logaritmikus volta. Példaként, egy kereskedelmi forgalomban levő, 21 tonnás, konténer méretű nátrium-kén (NaS) akkumulátor-egység maximális tárolási kapacitása 1,2 MWh, amit általában teljesen ki is használnak; a maximális kijövő teljesítménye 200 kW, de gyakori, hogy ennek csak a felét veszik ki (ez alá ennél a típusnál ritkán mennek) [7]. Így a kisütési idő 6-12 óra, tehát az ábrán ez a típus a szürke ellipszisen belül, a 1-1,2 MWh és a 6-12 óra között lenne egy nem éles határú kis „paca”.



1. ábra. Különböző energiatárolási módszerek sematikus kisülési idő – tárolási kapacitás diagramja ([6] alapján). A piros téglalap a hosszú távú energiatárolás régióját jelzi.

Ez alapján az ábra alapján azt lehet eldönteni, hogy egy már feltöltött tároló a kisütés megkezdésétől kezdve mennyi ideig tudja ellátni a fogyasztót, többé-kevésbé egyenletes (vagy a logaritmikus skála miatt, legalább egy nagyságrendben levő) teljesítményt feltételezve.

Egy másik, idő-jellegű leíró, amit energiatárolóknál használnak, az maga a berendezés élettartama. Ezt gyakran adják meg maximális ciklusszámban (a ciklus egy feltöltés és kisütés), ekkor az állandó használat melletti időtartamot ezen ciklusszám és a feltöltési-kisütési idő szorzataként kapjuk meg, de gyakran megtörténi, hogy a használatban nem levő tárolóberendezés élettartamát adják

meg, ez az ún. *shelf-life* [8]. Ez utóbbi megadása főként az akkumulátorokra jellemző; az sokakat érdekel, hogy egy használaton kívüli akkumulátort még meddig lehet használni, az már kevésbé, hogy egy használaton kívüli szivattyús tározó száraz medre meddig lesz még vízzáró.

A cikkünkben egy új idő-jellegű mennyiséget szeretnénk bemutatni, ami az idő-függőség mellett még tárolási határfok-függő is. Ez a mennyiség azt mutatja meg, hogy egy adott tárolótípust feltöltve, majd a feltöltés után „t” ideig, szándékos kisütés nélkül tárolva, az idő függvényében a betárolt energia hányad részét kapjuk vissza. Ez a mennyiség főként szezonális vagy éves-többéves tárolásnál lesz fontos, ugyanis nem mindegy, hogy egy verőfényes nyár fotovoltaikus úton megtermelt energiáját 4 hónapnyi használat nélküli tárolás után mekkora részben tudunk még visszanyerni.

A cikkben bemutatjuk, hogy a nagykapacitású tárolási módszerek között energetikailag és valószínűleg gazdaságilag is jelenleg az úgynevezett Power-to-Methane alapú technológia (amelyben az eltárolandó villamos energia segítségével vízből és széndioxidból metánt állítanak elő, majd a kitérítésnél ennek felhasználásával állítanak elő villamos energiát) tűnik a legígéretesebbnek, amennyiben a tárolási idő meghaladja a fél-egy éves időtartamot.

### Aktuális kitérölhatósági állapot

A bevezetendő mennyiséget aktuális kitérölhatósági állapot függvénynek neveztük el. A megértéséhez általánosítani kell az „önkisülést”, amit főként szuperkondenzátoros vagy akkumulátoros tárolókra használnak. Önkisüléskor a tárolóberendezésben terheletlen állapotban is csökken a benne tárolt energia mennyisége; ez akkumulátoroknál általában valamilyen kémiai reakció miatt történik meg. Ez a legtöbb akkumulátortípusnál pár tized százalék/nap, de egyes esetekben (mint pl. bekapcsolt redox folyadékáramú akkumulátornál) a napi 10%-ot is elérheti [2].

Az általánosításnak két iránya van. Egyrészt egyes esetekben az úgynevezett standby energiavesztés, ami a tároló működéséhez szükséges segédberendezések fogyasztását jellemzi, fizikailag nem választható el vagy nem érdemes elválasztani az önkisülési veszteségektől; ilyen pl. a nátrium-kén akkumulátor esete, amikor a feltöltési-kisütési 6-12 órás ciklusokban az önkisülési folyamatok disszipációs hője tartja folyékonyan a nátrium és kén elektródot, míg abban az esetben, ha sem feltöltés, sem kisülés nem történik, ezt egy segédűtéssel kell megoldanunk, napi szinten kb. 3% veszteséget okozva. A kétfajta veszteség ugyan fizikailag elkülöníthető, de mivel a két veszteség hatása ugyanaz, ezért az elkülönítésnek nincs értelme.

A másik általánosítás a kondenzátorokról, illetve akkumulátorokról való kiterjesztés más tárolókra is. Könnyen belátható, hogy egy szivattyús tárolónál a párolgási és szivárgási veszteségek, egy power-to-gas tárolónál az elszivárgó gáz, egy power-to-liquid tárolónál az esetlegesen elpárolgó vagy elszivárgó folyadék vagy az általában komplex molekuláris szerkezet degradációja az akkumulátorok önkisüléséhez hasonlatos veszteséget okoz, ami szintén időfüggő. Ilyen veszteség még súlytárolóknál is előfordulhat, bár ott rövid távon inkább véletlenszerű folyamat felelhet érte (pl. leesik pár kődarab a súlytárolónak használt vasúti kocsiról), de extrém hosszú távokon már állandóbb jellegű veszteségek is lehetnek (pl. a magára hagyott súly-torony betonelemei porladni-erodálódni kezdenek). A veszteség időben akumulálódik, ezért időegységre leosztva adják meg (pl. %/nap), de ez csak akkor lehetséges, ha a veszteség időben állandó; amennyiben nem, akkor helyesebb lenne egy önkis-

sülési függvényt használni. Amennyiben a szigorúan vett időfüggő önkisülést és egyéb veszteségeket összegezzük, megkapjuk a teljes időfüggő tárolási veszteséget. Ezt levonva a betárolt energiamentiségből, az eredmény a kitarolható energia, ami segítségével megkapjuk az immár időfüggő tárolási hatásfokot:

$$\frac{E_{ini} - (E_{sd}(t) + E_{sb}(t))}{E_{ini}} = \eta_s(t) \quad (1)$$

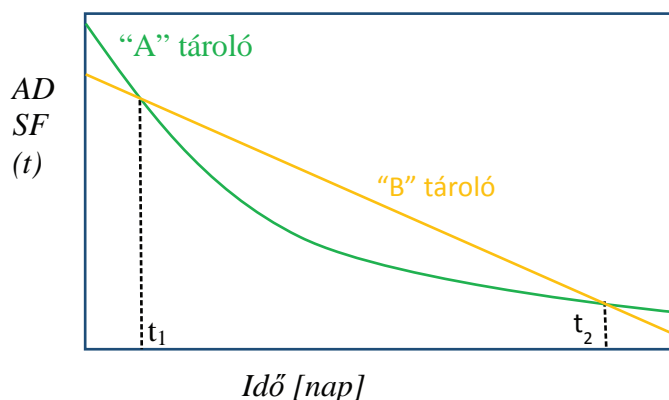
ahol  $E_{sd}(t)$  az időfüggő kisülési ( $sd$ =self-discharge) függvény,  $E_{sb}(t)$  az időfüggő standby veszteség-függvény,  $E_{ini}$  az időfüggetlen betárolt energiamentiség, míg  $\eta_s(t)$  az immár időfüggő, minden veszteséget és a visszaalakítási hatásfokot is magába foglaló tárolási hatásfok; ezt nevezzük aktuális kitarolhatósági állapot-függvénynek, vagy ADSF-nek (Actual Discharge State Function).

A visszanyert energiamentiség így

$$E_{ini} \cdot \eta_s(t) = E_{ini} \cdot ADSF(t) = E_d(t) \quad (2)$$

ahol  $E_d(t)$  ( $d$ =discharge) már szintén időfüggő.

Amennyiben két tározóban ugyanakkora (egységnyi) energiamentiséget tárolunk el, az  $ADSF(t)$  függvény megadja, hogy ennek mekkora részét tudjuk visszkapni, ha a kisütést  $t$  idő múlva kezdjük el és eddig az időpontig a tároló terheletlen állapotban volt. Két tároló  $ADSF(t)$  függvényét összehasonlítva könnyen látható, mekkora tárolási időnél melyikből nyerünk vissza több energiát és mekkora tárolási időnél melyiket érdemes használni. Ezt egy szemantikus ábrán (2. ábra) is demonstráljuk.



2. ábra. Az időfüggő  $ADSF(t)$  függvény segítségével megállapítható, hogy amennyiben a feltöltött tárolók kisütését  $t_1$  időpont előtt kezdjük el, akkor az "A" jelű tároló energetikailag jobb, a kisütést  $t_1$ - $t_2$  időpontok közt elkezdve a "B" jelű jobb, míg a kisütést  $t_2$  időpont után elkezdve ismét az "A" tárolóból tudnánk visszanyerni több villamos energiát

Természetesen az  $ADSF(t)$  függvény mellett egyéb vizsgálandó mennyiségek is vannak, mint a

- Telepítési és működési költségek
- Környezeti és társadalmi kritériumok (környezetszennyezés, társadalmi elfogadottság stb.)
- Teljesítménysűrűség
- Energiasűrűség, teljes energiatárolási kapacitás.

Ezek közül itt csak az utóbbi két pontot érintjük, azaz a két vagy több tároló  $ADSF$ -függvényének összehasonlításánál jelezzük, ha az egyiknél esetleg extrém nagy tárolási méret kellene ugyanakkora energiamentiség betárolásához (energiasűrűség), illetve ha fizikai, gazdasági, vagy egyéb okok miatt nem építhető bizonyos

tárolóméretnél nagyobb (pl. a vanádium ritkasága miatt nehéz lenne extra nagy méretű vanádium-redox tárolókat építeni).

Az általunk bemutatott ADSF-függvény valamelyest hasonló az úgynevezett tárolhatósági- vagy állási időre (shelf-life); ez egy, a gyártók által az akkumulátorokra megadott időfüggetlen, de idő dimenziójú érték, ami arra vonatkozik, hogy a tárolóberendezés terheletlen állapotban tárolva meddig működőképes. Ennek a mennyiségnek is időfüggőnek kellene lennie, hisz előfordulhat, hogy például 6 hónap múlva az akkumulátor tárolókapacitása már csak az eredetinek a 80%-a, míg 12 hónap múlva már csak 60%. Az, hogy meddig jó a tároló, a felhasználástól is függ; bizonyos körülmények között a felhasználónak már a 80% sem éri meg (neki a shelf-life kisebb, mint 6 hónap), máskor a 60% még bőven elég (ekkor a shelf-life 12 hónap feletti). Erre egy jó példa az elektromos autók akkumulátorainak másodlagos felhasználása; egy idő után ezek már az eredeti célokra nem használhatók, de más célokra még megfelelnek. Így valójában az időfüggetlen, de idő dimenziójú shelf-life-nak (tsl) is van egy általánosítható, idő- és megmaradt tárolási kapacitás-függő változata, ahol az utóbbi érték nem feltétlenül változóként, hanem adott határértékként is szerepelhetne (pl. a  $t_{sl}^{60}=1$  év;  $t_{sl}^{20}=2$  év adatpár azt jelentené, hogy az adott tároló 1 év múlva még az eredeti kapacitásának 60%-ra lenne képes, míg 2 év múlva már csak 20%-ra).

Fontos különbség, hogy míg a shelf-life a terheletlen tárolóberendezésre vonatkozó mennyiség (és ez igaz az időfüggő változatra is), az ADSF-függvény magára a betárolt energiára vonatkozik (szintén terheletlen állapotban); amire természetesen a tárolóberendezés is visszahat.

Visszatérve az ADSF-függvényre, egy konkrét tározó esetén ez állhat több különböző időfüggő és időfüggetlen részből is. Pl. egy szivattyús tározónál maga az „önkisülés” is behoz ilyen tagokat; a párolgási veszteség függ a külső hőmérséklettől és szélétől (ez időfüggő), valamint a tározó aktuális szabad felületétől (ez akár állandó is lehet, de duzzasztott tározóknál általában a tározóban levő mennyiség csökkenésével ez is csökken), míg a szivárgási veszteség a tározóban levő víz mennyiségétől (a vízszlop magasságától, azaz nyomásától) függ. Ilyen komplex függvényt nehéz modellezni, így az összehasonlításunkban egy egyszerűsített (lineáris) ADSF-függvényt használunk. Ekkor az 1. egyenletben definiált időfüggő tárolási hatásfoknak ( $\eta_s(t)$ ) lesz egy időfüggetlen tagja ( $\eta_s$ ), ami mellé egy lineáris időfüggés járul, így az ADSF-függvény az alábbi alakot veszi fel:

$$E_{ini} \cdot \eta_s(t) = E_{ini} \cdot ADSF(t) = E_d(t) \quad (3)$$

alakot veszi fel, ahol – mint korábban is – az  $\eta_b$  a betárolt energiának a villamos energiává visszaalakítását jellemző hatásfok,  $t$  pedig az idő. Ilyen esetben a 2. ábra görbéi lineárisra válnának és két tárolóberendezés esetén csak egy metszet lenne, megadva azt az időtartamot, aminél rövidebb tárolásokról az egyik, hosszabbakról pedig a másik tározó a jobb. Ebben a formában jól látható, hogyha feltöltés után rögtön elkezdjük a kisütést (pl. ha egy Li-ion akkumulátorral a napsütés egyenetlenségei miatt PV-teljesítményt akarjuk simítani), akkor az  $ADSF(t=0)$  értéke a betárolt energiának a villamos energiává visszaalakítását jellemző hatásfokkal egyezik meg, majd innen csökken lineárisan. Így az is jól látható, hogy az adott időhöz tartozó ADSF-értéket kétféleképp növelhetjük; vagy a visszaalakítás hatásfokát növeljük (pl. Power-to-Methane esetben a visszaalakítást végző gázmotor hulladékhőjét egy ORC-berendezésen

hasznosítva [9,10]), vagy a csökkenést lassítjuk, pl. az önkisülés csökkentésével (pl. Power-to-Hydrogen esetben a hidrogén jobb, szivárgásmentesebb tárolásával) vagy a stand-by veszteségeket csökkentjük, mint pl. a folyékony elektródos akkumulátoroknál jobb hőszigetelést alkalmazva a hőveszteség csökkentésével.

A következő részben néhány tárolástípus mutatunk be, majd az egyszerűsített (lineáris) ADSF-függvényüket összehasonlítva kiválasztjuk, hogy hosszabb tárolási időtartamra melyik módszerek teljesítenek jobban a többinél. Ezután a fenti két másodlagos kritérium (energiasűrűség, teljes energiatárolási kapacitás) alapján megmutatjuk, hogy az általunk használt keretrendszerben melyik az az időintervallum, amin belül valószínűleg a Power-to-Methane típusú tárolás lenne a megfelelő.

### A tárolási módszerek összehasonlítása

A cikkben pár ismertebb akkumulátor-típust, két Power-to-Gas tárolási típust és egy súlytárolási típust hasonlítunk össze. A hagyományos szezonális tárolótípust, a szivattyús tárolót itt nem vizsgáljuk; egyrészt ennek a telepítéséhez speciális természeti adottságok kellene (azaz nem telepíthető bárhova) [2,11], másrészt pedig Magyarországon, történelmi okok miatt [12] a közeljövőben nem várható ilyen fejlesztés.

Mivel a fő cél a Power-to-Methane típusú tárolás elhelyezése a tárolási láncban, ezért a többi típust csak rövidebben ismertetjük.

### Akkumulátorok

Az alábbi akkumulátor-típusok ADSF-függvényeivel foglalkozunk:

- Savas ólomakkumulátor
- Nikkel-fémhidrides akkumulátor
- Lítium-ionos (LiNMC/LiFePO<sub>4</sub>) akkumulátor
- Vanádium redox flow akkumulátor (lekötött tartállyal, illetve áramoltatva, készenléti állapotban)
- Nátrium-kén akkumulátor

Az első három típusról itt nem szeretnénk sokat írni; mindhárom típus ismert, gyakran használt és mind a magyar, mind az angol szakirodalomban elég sok helyen megtalálhatók a jellemzői [2,3]; a számunkra releváns értékek az 1. táblázatban találhatóak.

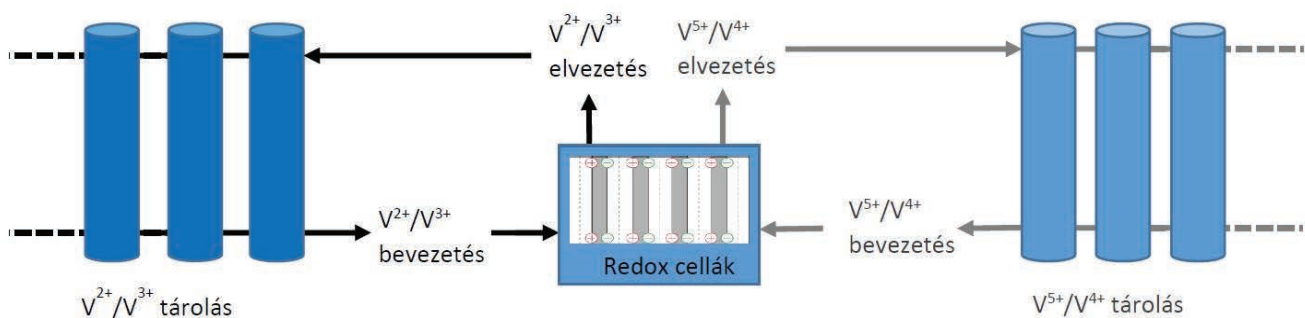
A vanádium-redox áramlási akkumulátornál (VRFB) a kémiai reakció egy membránnal kettéválasztott térben játszódik (ld. a 3. ábrát). Az elektrolitban pár mol/l koncentrációban vanádium-ionokat találhatunk, ezek különböző vegyértékű állapotai között játszódik le az elektrokémiai reakciók ( $V^{2+}/V^{3+}$ , illetve  $V^{5+}/V^{4+}$ ). A kétfajta elektrolitot két külön tartályban tárolják, csak a membránnal elválasztott reakcióterében kerülhetnek egymással kapcsolatban. Gyakorlatilag ez az akkumulátor-típus egy kis kémiai üzem; ha nincs szükség a „végtermekre”, akkor a kétfajta elektrolitot degradáció, szivárgás és párolgás (azaz önkisülés) nélkül tárolják a tartályokban, amelyekből akár több is lehet, sőt, le is választhatók a közpon-

ti, áramtermelő egységről (azaz mintha külön tartályokban levő folyékony üzemanyagok lennének). Ekkor az akkumulátor kikapcsolt állapotban (nem keringetik az elektrolitot) van, önkisülése – amíg a plasztik tartályok szét nem mállanak és ez elektrolit el nem folyik – gyakorlatilag nulla. Amennyiben viszont áramoltatják, a napi önkisülés mértéke 20%-ot is elérheti. A visszaalakítás hatásfoka 75-80% közötti, ebben a standby veszteségek is benne vannak (ebben az esetben pl. a szivattyú működése).

A nátrium-kén (NaS) akkumulátor egy magas hőmérsékletű, olvadáselektrodás akkumulátor; míg a két elektróda (nátrium és kén) folyékony, azaz olvadt állapotban van, az elektrolit szilárd [7,13, 14]. Az elektródok folyékonyan tartása miatt az akkumulátor belső hőmérséklete legalább 300 °C. Az akkumulátor az úgynevezett energia-akkumulátorok közé tartozik; míg a teljesítmény-akkumulátoroknál (mint pl. a Li-ion akkumulátorok is) az energia leadása gyorsan (azaz nagy teljesítménnyel) történik, ennél a típusnál a teljesítmény kisebb, de az össz betárolt energiamennyiség nagy. Kereskedelmi forgalomban konténer-méretben kaphatók; a japán NGK Insulators Ltd. gyártmányai 1,2 MWh tárolására képesek és ezt hat óra (vagy annál hosszabb idő) alatt, max, 200 kW teljesítményen tudják leadni. A magas hőmérsékletet folyamatos feltöltés-kisütési ciklusoknál az önkisülékor keletkező disszipációs hő adja. A teljes átalakítási hatásfok elvileg elérheti a 85%-ot is. Terheletlen állapotban a hőveszteség miatti standby veszteség 3,4 kW, azaz naponta 81 kWh, ami 6,8%. [15]

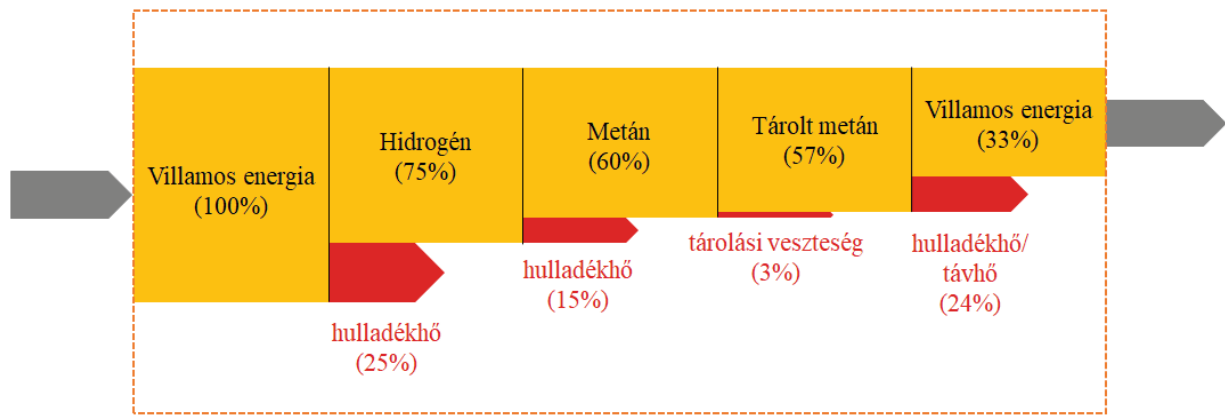
### Power-to-Gas típusú tárolók

A Power-to-Fuel típusú tárolásnál [4] a villamos energia segítségével egy új üzemanyagot állítanak elő, vagy egy létező üzemanyagot alakítanak át magasabb energiatartalmúvá. Mi a módszeren belül két altípussal foglalkozunk, mindkettő a Power-to-Gas csoporthoz tartozik (azaz az előállított üzemanyag gáz halmazállapotú); egyik a hidrogén (Power-to-Hydrogen, P2H), a másik a metán (Power-to-Methane, P2M). A két módszer nagyon összefügg; mindkettő esetében az első lépésben a tárolandó villamosenergia segítségével vízbontással hidrogént állítanak elő. A P2H módszernél azt a hidrogént használják fel később villamosenergia-előállításra, vagy járműüzemanyagként (de mi csak a villamosenergia-tárolás-villamosenergia jellegű módszereket vizsgáljuk); az újrafelhasználásig pedig nagynyomású gázként vagy kriogénikus folyadékként, vagy kémiaileg megkötve (pl. ammóniaként) vagy földgázba keverve, gázként tárolják [16,17]. Itt az „önkisülés” a hidrogén elvesztése; ilyen szempontból a nagynyomású gázos tárolást, illetve a kriogénikus folyadékos tárolást vizsgáljuk meg. A P2M módszernél az így előállított hidrogénből és széndioxidból kémiai [18] vagy biokémiai [19] úton metánt állítanak elő; az így előállított metánból aztán később villamos energiát állítanak elő, vagy járműüzemanyagként használják fel. A jelen cikkben a kisebb energiafelhasz-



3. ábra. A vanádium-redox áramlási akkumulátor elvi vázlata





4. ábra. A Power-to-Methane-to-Power kör lépései, jelölve az átalakulások hatásfokát és a disszipatív veszteségek

nálású, azaz jobb hatásfokú biokémiai változatot vizsgáljuk; ennek az is az előnye, hogy metán-széndioxid keverékek (biogáz, depóniagáz) dúsítására is jó, mert a már meglévő metánt nem alakítja át. A villamos energiává való visszaalakításhoz egy kb. 60%-os metán → villamos energia módszert vizsgálunk, ami a teljes folyamatra kb. 33% tárolási hatásfokot ad (ilyen pl. egy jobb gázturbina), valamint egy olyan módszert, amikor a hulladékhő metanizáció előtti részét (ez 25+15%, alacsony hőmérsékletű, így várhatóan az össz-hatásfokban max. 0,5-1% növekedést okoz) egy alacsony hőmérsékletű ORC-folyamattal [20] visszaalakítjuk villamos energiává és visszatápláljuk az elektrolizátorba, csökkentve a bemenő energiamennyiséget és így emelve a tárolási hatásfokot, valamint a visszaalakításnál a magas fokú hulladékhőre szintén egy ORC-t illesztve ennek a hőnek jelentős része villamos energiává alakítható, így az össz tárolási hatásfok elérheti az 50%-ot. Mindkét esetben a metán a földgázhálózatban tárolnánk; az önkiszülés így a hálózatról való szivárgás, aminek értékét egyéb adatokból becsültük meg [21]. A folyamat lépései a 4. ábrán láthatók.

**Az ADSF-függvények összehasonlítása**

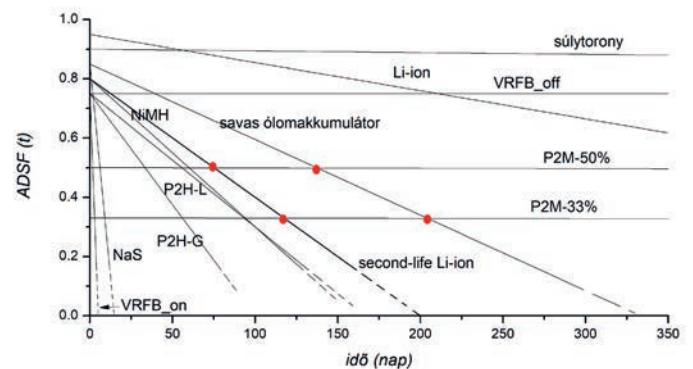
A fenti tárolástípusokra vonatkozó ADSF függvények (3. egyenlet) állandói az 1. táblázatban találhatóak.

1. táblázat. Az egyszerűsített (lineáris) ADSF függvényben szereplő állandók (3. egyenlet). A feltüntetett értékek átlagosak az adott típusra nézve; egyes gyártók termékei ennél jobb, illetve rosszabb tulajdonságokat is mutathatnak.

Típus	$\eta_b$	$\eta_s$ (naponta)	shelf-life (év)
Savas ólomakkumulátor	0,85	0,003	3-15
Nikkel-fémhidrides akkumulátor	0,80	0,005	5-10
Lítium-ionos (LiNMC/LiFePO <sub>4</sub> ) akkumulátor	0,95	0,001	2-3
VRFB (lekötött tartállyal)	0,75	0,2	20-30
VRFB (áramoltatva, készenléti állapotban)	0,75	0	20-30
Nátrium-kén akkumulátor	0,85	0,068	15-25
Power-to-Hydrogen (tisztá gáz formában tárolt hidrogénnel)	0,75	0,01	>50
Power-to-Hydrogen (tisztá folyadék formában tárolt hidrogénnel)	0,75	0,006	>50
Power-to-Methane	0,33-0,5	0,000023	>50
Súlytorony	0,9	0,000064	>1000

Ezek alapján felrajzolható az ADSF(t) vs. idő függvény (5. ábra), ez azt mutatja, hogy a teljesen feltöltött tárolót t idejű terheletlen állapot után kisütve a betáplált villamosenergia hány százalékát kapjuk vissza (szintén villamosenergia-formában). Mint a 2. ábrán is mutattuk, amikor két ilyen függvény metszi egymást, megállapítható, hogy a metszéspontnak megfelelő időnél rövidebb tárolásoknál az egyik, míg a másiknál a másik az energetikailag előnyösebb megoldás. Az 5. ábra alapján bizonyos típusok (súlytároló, kikapcsolt vanádium-redox áramlási akkumulátor) csak energetikai szempontból nézve nagyon előnyösek a hosszú távú energiatárolásban; ezeknek a hátrányaival a következő részben foglalkozunk. Szintén jó megoldásnak tűnik a savas ólomakkumulátor és a Li-ion akkumulátor; ezeknél a nyáron betárolt energia mennyiségének a fele visszanyerhető 3-5 hónap múlva. Egy tároló, ami egy 10 000 fős magyar települést ellát (4260 kWh/fő/év energiaigénnyel számolva) három téli hónapra 10,65 GWh; ekkora méretű tárolót ezekből a típusokból nehéz lenne felépíteni. A Li-ion akkumulátor esetén főképp a szükséges lítium-mennyiség a korlát; ezt a problémát tovább fokozza, hogy a Li-ion akkumulátorok – sok más típussal szemben – jól használhatók a közlekedésben is, így ott is nagy rájuk az igény. Savas ólom akkumulátorok esetén a potenciális környezeti veszélyek lennének talán az elsődlegesek, amiért egy ilyen tárolót nem építenének meg.

Piros pontok jelölik azokat az időket, amikor a P2M tárolási mód jobb lesz ezeknél az akkumulátoroknál. Ez a 33%-os visszanyerésnél (P2M-33%) Li-ion akkumulátorral összehasonlítva kb. 130 nap



5. ábra. A bemutatott tárolási módszerek egyszerűsített (lineáris) ADSF-függvényeinek összehasonlítása. A metszéspontok megadják, hogy a hozzá tartozó időtartamnál rövidebb, illetve hosszabb terheletlen tárolási idők esetén energetikailag melyik tárolási módszer a jobb. A négy piros pont jelzi, hogy melyek azok az idők, amelyeknél hosszabb időtartamú tárolásnál a Power-to-Methane módszer energetikailag jó lehet.



után, míg a savas ólomakkumulátorokkal összehasonlítva kb. 205 nap után történik meg; ezek az értékek 95, illetve 135 napra változnak 50%-os visszanyerés esetén (P2M-50%). Azaz a szezonális energiatárolásnál, amikor a betárolás zömmel július-augusztusban, míg a felhasználás december-februárban, azaz 100-200 nap múlva történne (a villamosenergiát eddig kellene egy terheletlen állapotú tárolóban tárolni), a P2G módszerek már a jelenleg is könnyen megoldható 33%-os visszaalakítás mellett is versenyképesek a legtöbb más tárolási módszerrel szemben a tárgyalt típusok közül a két kivétel a súlytároló és a keringetés nélküli vanádium-redox áramlási akkumulátor. Az ezekkel való összehasonlítás a következő fejezet tárgya.

A többi vizsgált tárolótípus (NaS akkumulátor, cirkuláltatott állapotban levő VRFB akkumulátor, illetve hidrogénes tároló, mint folyékony, mind gáz alapú tárolással) ilyen típusú tárolási feladatra nem megfelelő.

### A nagykapacitású és hosszú tárolhatósági idejű módszerek összehasonlítása

Az előző számítások alapján a szezonális vagy akár annál hosszabb idejű energiatárolásban a Power-to-Methane módszernek két konkurense maradt, a súlytároló és a lecsatolt tartályos VRFB. Ezek közül a második nem lesz versenyképes; a vanádium még a lítiumnál is nehezebben hozzáférhető, így a már említett városnyi 10 GWh igény esetén a 25 Wh/L energiasűrűség mellett 400 000 m<sup>3</sup>-nyi, legalább 1 mol/l vanádium-vegyület koncentrációjú oldat előállítására nem tűnik reálisnak.

Komolyabb kihívó a súlytároló. A súlytároló az elvét tekintve a szivattyús tározókhoz hasonlóan potenciális energia formájában tárolja az energiát és azt nagy hatásokkal lehet visszaalakítani. Bár vannak olyan típusai, amelyek csak bizonyos helyeken telepíthetők (pl. hegyoldalon [22] vagy bányánál [23]), az energiatároló-jellegű változatok [24] szinte bárhova telepíthetők lennének, ahol a talaj megfelelő teherbírásúvá tehető. Az ilyen tározóknál a betárolandó energiával betontömböket helyeznek egymásra egy speciális daru segítségével; kitérésnél a daru leengedi ezeket a kötömböket az alapszintre, miközben egy megfelelő áttét segítségével a benne levő generátor villamos energiát termel. Az ilyen tárolóknál az önkiszülés nehezen értelmezhető, bár hosszú távon a betárolt tömbök lehullása vagy eróziója okozhat ilyen veszteséget. Mivel számszerű adatokat nem találtunk, így kerestünk egy régóta létező, nehéz tömbökből épített, magas építményt és ennél vizsgáltuk meg, hogy kellően hosszú idő alatt mennyivel csökkent a betárolt energia; ebből becsülve meg a napi szintű  $\eta_s$  értéket.

A vizsgált „súlytároló” a Kheopsz-piramis; eredeti magasságát 146,7 m-re becsülik, jelenleg 138,8 m. A jelenlegi tömege kb. 6 millió tonna, térfogata 2,3 millió köbméter, kora kb. 4500 év. Szabályos gúlaként közelítettük mind az eredeti, mind a mostani változatot, valamint az alapok méretét állandónak tekintettük és a veszteséget a tömeg- és a magasságvesztéséből számoltuk. Így a betárolt energia kb. 634 MWh volt, a jelenlegi energiatartalma pedig 567 MWh, ez a teljes élettartamra vetítve 10,5% „önkiszülés”, ami napi szinten  $6,4 \cdot 10^{-6}$ , azaz 0,00064%/nap, ami gyakorlatilag a P2M módszerekéhez mérhető, viszont a nagy előny a „terheletlen” állapot-beli hosszú élettartam, ami ebben az esetben meghaladja a 1000 évet.

Ennek a típusnak egy komoly fizikai hátránya (ebben a cikkben a pénzügyi oldalt nem vizsgáljuk) az alacsony energiasűrűségéből adódó nagy méret. Egy közepes minőségű gázturbinával egy

ilyen súlytárolóban tárolt energia megtermeléséhez kb. 75 tonna metánra (földgázra) lenne szükség. Ez tömegben a súlytárolónk 0,00125 %-a, ami cseppfolyós formában tárolva tárolásban (LNG) kb. 170 m<sup>3</sup>, nagynyomású tárolásban (CNG, 200-250 bar) kb. 420 m<sup>3</sup>, míg normál nyomáson kb. 100000 m<sup>3</sup>. Azaz egy Kheopsz-piramis méretű atmoszférikus nyomású tározó P2M tározóként kb. 23-szor akkora tárolási kapacitású lenne, mint súlytárolóként, nagyobb nyomáson ez még inkább eltolódna; ráadásul nem kellene évente bontani-építeni a piramist.

Mindezen nagyobb energiamennyiségek szezonális tárolására a technikailag legjobb, bárhova telepíthető megoldásnak a Power-to-Methane technológia tűnik. Fontos megjegyezni, hogy gazdasági-társadalmi szempontból is elfogadható módszerről van szó, amely jól illeszkedik a már meglévő tárolási és villamosenergia-termelési infrastruktúrához is [25,26].

### Összefoglalás

A jelenleg használt, nagy energiamennyiségek eltárolására képes energiatárolási módszerek közül a legtöbbször az időjárásfüggés miatt ingadozó energiatermelés és a szintén ingadozó igények közti különbség kiegyenlítésére használják. Ezekhez a legfeljebb pár napos hosszúságú tárolási feladatokhoz akár nagyobb mennyiségek (pl. pár MWh) esetén is megfelelnek az akkumulátoros rendszerek. Szezonális és ennél is hosszabb, éves-több éves tárolásnál viszont ezek a típusok nem megfelelőek. A cikkben bevezettünk egy részben élettartam, részben hatásfok jellegű mennyiséget, amely azt mutatja meg, hogy a feltöltött és terheletlen tárolóban álló energiát t idő múlva mekkora részben tudjuk visszanyerni. Ez a mennyiség kissé hasonlít az akkumulátorok shelf-life mennyiségű jellemzőjére, de nem azt mutatja meg, hogy a tárolóberendezés meddig használható, hanem azt, hogy a benne eltárolt energiát – bizonyos visszanyerési hatásokkal meddig tudjuk felhasználni.

A következő módszereket hasonlítottuk össze: savas ólomakkumulátor; nikkelfémhidrides akkumulátor, lítium-ionos (LiNMC/LiFePO<sub>4</sub>) akkumulátor, vanádium redox áramlási akkumulátor (kétszenléti állapotban, illetve leválasztott tárolótartállyal), nátrium-kén akkumulátor, Power-to-Hydrogen módszer (tisztá gáz formában tárolt hidrogénnel, ill. tisztá folyadék formában tárolt hidrogénnel), Power-to-Methane módszer (33, illetve 50% visszanyerési hatásokkal), valamint a súlytornyos tárolást. Szezonális energiatárolásnál a P2M módszer a leválasztott tartályos VRFB és a súlytároló kivételével az összes más módszernél nagyobb hatásokkal tudja visszaadni a betárolt energiát. Más, szintén technikai jellegű kritériumokat (mint pl. a méret, illetve az alapanyag fellelhetősége) is figyelembe véve a P2M technológia a maradék két módszernél is jobb, ezért a szezonális (nyáron megtermelem, pár hónapig gáz-hálózatba tárolom, majd télen visszaalakítom villamosenergiává), illetve ennél hosszabb (pl. pár éves) tárolási időknél fontos szerepe lehet. Ezek alapján a P2M módszert szezonális vagy több éves, nagy energiamennyiségű, viszonylag kis helyigényű (kompakt), nagyon könnyen és elfogadható hatásokkal „kisüthető” tározóként pozícionálható.

A cikkben a P2M módszer helyét mutattuk be a többi, ismeretebb energiatárolási módszer között; természetesen az általunk használt technikai kritériumok mellett a gazdasági, környezetvédelmi, illetve jogi oldalt is figyelembe kell venni, amikor tényleges tárolók telepítését fontolgatjuk. Mindenesetre fontos megjegyezni, hogy jelenleg Magyarországon több éves fejlesztés után [27,28]

két fél-ipari méretű P2M projekt is folyik [29]. Mivel a hazai hálózat metán- (azaz földgáz-) tárolási kapacitása nagyon nagy, ezért – a megfelelő jogi és gazdasági feltételek megteremtése esetén – remélhetőleg hamarosan megindulhat az ipari méretű P2M tárolás is.

### Köszönetnyilvánítás

A munka a 2020-3.1.1-ZFR-KVG-2020-00006 számú projekt keretén belül a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-3.1.2- ZFR-KVG pályázati program finanszírozásában valósult meg.

### Hivatkozásjegyzék

- [1] Az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2019/944 irányelve (2019.június 5.) a villamos energia belső piacára vonatkozó közös szabályokról és a 2012/27/EU irányelv módosításáról, 2. cikk, 59. pont, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/TXT/?uri=CELEX:32019L0944>, hozzáférve: 2020.02.02.
- [2] Gerse Károly: *Energiatárolók, Akadémiai Kiadó*, ISBN: 978 963 454 493 7, DOI: 10.1556/9789634544937, 2020 (<https://mersz.hu/kiadvany/707/>).
- [3] Robert A. Huggins: *Energy Storage - Fundamentals, Materials and Applications*, Second Edition, Springer, Cham, ISBN 978-3-319-21238-8, DOI 10.1007/978-3-319-21239-5, 2016.
- [4] *Handbook of Energy Storage - Demand, Technologies, Integration* (szerk.: Michael Sterner és Ingo Stadler), Springer, ISBN 978-3-662-55503-3, DOI 10.1007/978-3-662-55504-0, 2019.
- [5] Györke Gábor, Groniewsky Axel, Imre Attila : Egykomponensű munkaközegek újszerű osztályozása ORC technológiához, *Energiagazdálkodás*, 60/1-2 (2019) 34-45.
- [6] Albert Hiesl, Amela Ajanovic, Reinhard Haas: On current and future economics of electricity storage, *GHG Greenhouse Gases Science and Technology*, 10 (2020) 1176–1192; DOI: 10.1002/ghg.2030
- [7] Tomio Tamakoshi: Development of Sodium Sulfur Battery and Application, *Grand Renewable Energy Proceedings*, March 07, 2019, p286, DOI: 10.24752/gre.1.0\_286
- [8] Farahani, S. (2008). Battery Life Analysis in: *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, 207–224. doi:10.1016/b978-0-7506-8393-7.00006-6
- [9] Alberto Benato and Alarico Macor: Biogas Engine Waste Heat Recovery Using Organic Rankine Cycle, *Energies* 10 (2017) 327; <https://doi.org/10.3390/en10030327>
- [10] Macchi, E.; Astolfi, M. *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems: Technologies and Applications*; Elsevier-Woodhead Publishing: Duxford, UK, 2016
- [11] A.G. Ter-Gazarian: *Energy Storage for Power Systems (IET POWER AND ENERGY SERIES 63)*, 2nd. Edition, The Institution of Engineering and Technology, 2011
- [12] Owen McIntyre: Gabčíkovo – Nagymaros Project: A Test Case for International Water Law?, In: Anton Earle, Anders Jagerkog and Joakim Öjendal (editors): *Transboundary Water Management: Principles and Practice*, Stockholm International Water Institute, 2010, page 228
- [13] Taku Oshima, Masaharu Kajita and Akiyasu Okuno: Development of Sodium-Sulfur Batteries, *Int. J. Appl. Ceram. Technol.*, 1 [3] 269-76 (2004)
- [14] Zsiborács Henrik, Imre Attila, Hegedűsné Dr. Baranyai Nóra, Vincze András, Pintér Gábor: Hatékonysági jellemzők a napelemes rendszerekhez alkalmazott akkumulátorok területén, *Energiagazdálkodás*, 61/4 (2020) pp37-41.
- [15] EPRI-DOE *Handbook of Energy Storage for Transmission & Distribution Applications*, EPRI, Palo Alto, CA, and the U.S. Department of Energy, Washington, DC: 2003. 1001834. (online: <https://www.sandia.gov/ess-ssl/publications/ESHB%201001834%20reduced%20size.pdf>)
- [16] Kubus Péter: Hidrogén energiatárolás P2G2P *Energiagazdálkodás*, 61/4 (2020) pp20-24.
- [17] Kovac, Ankica; Paranos, Matej; Marcius, Doria: Hydrogen in energy transition: A review, *International Journal of Hydrogen Energy*, 46 (2021) 10016-10035, DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.11.256
- [18] Roensch, Stefan; Schneider, Jens; Matthischke, Steffi; Schluter, Michael; Goetz, Manuel; Lefebvre, Jonathan; Prabhakaran, Praseeth; Bajohr, Siegfried: Review on methanation - From fundamentals to current projects, *Fuel*, 166 (2016) 276-296, DOI: 10.1016/j.fuel.2015.10.111
- [19] D. Hidalgo, J.M. Martín-Marroquín: Power-to-methane, coupling CO2 capture with fuel production: An overview, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 132 (2020) 110057
- [20] D. Vera, A. Baccioli, F. Jurado and U. Desideri: Modeling and optimization of an ocean thermal energy conversion system for remote islands electrification, *Renewable Energy*, 162 (2020) 1399-1414
- [21] KSK – Nemzetgazdasági ágak és háztartások metán (CH4) kibocsátása (1985–)(4/4) (online: [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_ua028d.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ua028d.html)) (2017)
- [22] Francesca Cava, James Kelly, William Peitzke, Matt Brown, Steve Sullivan: Advanced Rail Energy Storage: Green Energy Storage for Green Energy, in: *Storing Energy - With Special Reference to Renewable Energy Sources* (Ed.: Trevor M. Letcher), (2016), pp69-86, Chapter 4, Elsevier
- [23] Gravitricity – Gravity Energy Storage (online: <https://gravitricity.com/>) (2016)
- [24] Samuel K. Moore: The Ups and Downs of Gravity Energy Storage: Startups are pioneering a radical new alternative to batteries for grid storage, *IEEE Spectrum* 58 (2021) 38 – 39, DOI: 10.1109/MSPEC.2021.9311456
- [25] Zoltán Csedő, Botond Sinóros-Szabó, Máté Zavarkó: Seasonal Energy Storage Potential Assessment of WWTPs with Power-to-Methane Technology, *Energies* 13 (2020) 4973; <https://doi.org/10.3390/en13184973>
- [26] Gábor Pintér: The Potential Role of Power-to-Gas Technology Connected to Photovoltaic Power Plants in the Visegrad Countries—A Case Study, *Energies* 13 (2020) 6408; <https://doi.org/10.3390/en13236408>
- [27] Sinóros-Szabó Botond: Egy power-to-gas prototípus üzemeltetési tapasztalatai: K+F+I eredmények és lehetőségek, *Energiagazdálkodás (különszám)* 60 (2019) 3-8
- [28] Csedő Zoltán: A power-to-gas technológiafejlesztés tapasztalatai Magyarországon, *Energiagazdálkodás* 61 (2020) 16-20
- [29] NKFIH: Karbonmentes, többlet villamos energia innovatív technológia által gázenergiává (hidrogén, biometán) történő alakítását célzó fejlesztések megvalósítása (2020-3.1.2-ZFR-KVG), támogatott projektek (2020) (online: <https://nkfih.gov.hu/palyazoknak/egyeb-tamogatás/zfr-kvg>)

# Gáztárolás adszorpciós elven?

Dr. Domán Andrea

tudományos segédmunkatárs, andidoman@gmail.com

Samantha K. Samaniego A.

PhD-hallgató, samikathi@gmail.com

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Fizikai Kémia és Anyagtudományi Tanszék

Hancz Aliz

MSc hallgató, hanczaliz@gmail.com

Prof. Dr. László Krisztina

egyetemi tanár, laszlo.krisztina@vbk.bme.hu

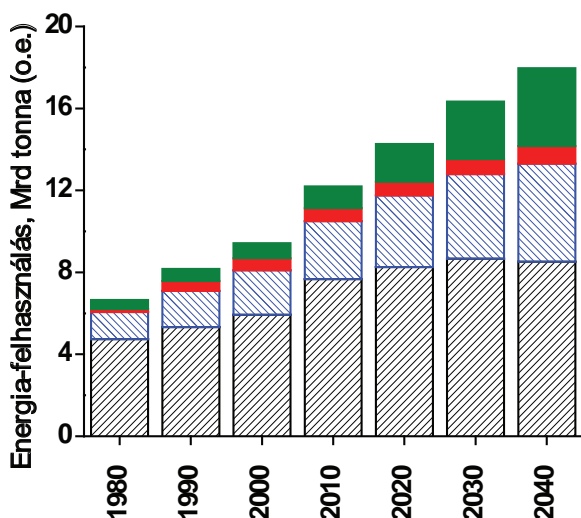
A metán a környezeti-ökológiai szempontból legtisztábbnak tartott fosszilis energia-forrás. Jelenleg is jelentős mennyiségben áll rendelkezésünkre és a megújuló biomasszából is megfelelő koncentrációban nyerhető ki A nagynyomású (CNG), illetve kriogén (LNG) gáztárolási módszerek, bár technikai és biztonsági okok miatt nem ideálisak, lényegesen növelik a metán energiasűrűségét. Ez a rövid áttekintés a biztonságosabb és gazdaságilag is megfelelő alternatívának ígérkező adszorpciós elvű gáztárolás (adsorbed natural gas, ANG) technikai kihívásait veszi számba.

\*

Methane is considered to be the greenest fossile energy source. It is not only available in form of natural gas but can also be obtained with a reasonable yield by the conversation of the renewable biomass. High pressure and cryogenic CNG and LNG technologies may help to upgrade the low energy density of methane for various applications including transportation. Here we briefly discuss the challenges of a safer and expectedly more reasonable gas storage technology based on adsorption principle (ANG).

\*\*\*

A nem fosszilis eredetű energiaforrások (pl. a nukleáris energia, vízi, nap- és szélerőművek) egyre szélesebb körű felhasználása ellenére változatlanul növekszik az igény a fosszilis eredetű energiahordozók iránt is (1. ábra). A legzöldebbnek tekintett fosszilis energiaforrás a metán, mely többfajta természetes forrásból is nagy mennyiségben áll rendelkezésünkre. A földgáz fő komponense (1. táblázat), vízzel alkotott zárványvegyületei, a klatrátok nagy mennyiségben fordulnak elő az óceánok mélyén és a permafroszt területeken. A Nyugat-Szibéria területén klatrátként található me-



1. ábra. Az olajegyenértékre átszámolt (o.e.) energiefelhasználása alakulása [1]

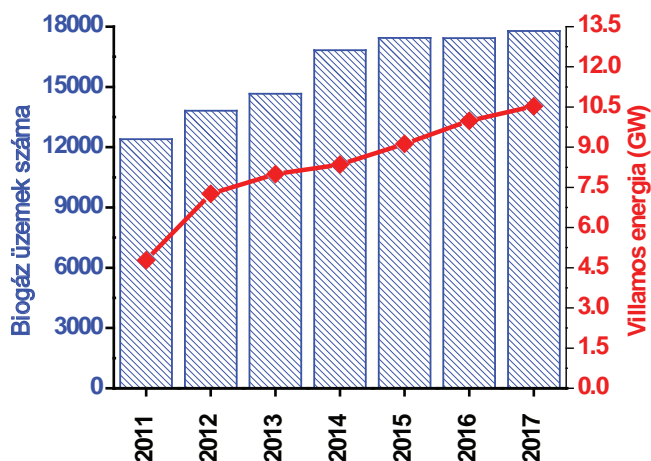
tán-kincset néhány éve  $10^{10}$ - $10^{11}$  tonnára becsülték. A megújuló biomasszából is előállítható technikai felhasználásra alkalmas metántartalmú biogáz. A nyers biogázok összetételét ugyan kiindulási anyagaik determinálják, fő komponensként 50-75 térfogat% metánból, 25-50% széndioxidból és 2-8% nitrogénből állnak, nyomokban kénhidrogént, ammóniát, hidrogént és illékony szerves vegyületeket tartalmazhatnak [3].

1. táblázat. A földgáz összetétele [2]

Metán	CH <sub>4</sub>	70-90%
Etán	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0-20%
Propán	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	
Bután	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	
Széndioxid	CO <sub>2</sub>	0-8%
Oxigén	O <sub>2</sub>	0-0,2%
Nitrogén	N <sub>2</sub>	0-5%
Kénhidrogén	H <sub>2</sub> S	0-5%
Nemesgázok	Ar, He, Ne, Xe	nyomokban

A biogáz üzemek haszna tehát kettős: egyrészt a hulladékgazdálkodásra nehezedő teher csökkentése, másrészt az alternatív üzemanyagként szolgáló metán gazdaságos mennyiségű előállítása. A 2. ábra az Európai Unióban működő biomasszát felhasználó létesítmények számának és az általuk szolgáltatott elektromos energia közelmúltbeli alakulását szemlélteti [4]. A fejlődés töretlen: 2019 végére már 18 943 biogáz üzem ezen belül 725 biometán üzem működött Európában [5].

Az országos vagy lokális hálózatokba be nem kötött vagy köthető biogáz üzemekben többé-kevésbé folyamatosan termelődő metán nem feltétlenül kerül azonnal felhasználásra, így felmerül az ideiglenes tárolás igénye.



2. ábra. A biogáz üzemek számának és energia-termelésének alakulása az Európai Unióban [4]



A metán a gazdaság számos területén, ezen belül az igen jelentős energiaigényű közlekedési szektorban is egyre növekvő potenciállal bír. A gépjárművek üzemanyagként történő felhasználása során ugyanakkor a gépjármű konstrukciója és a biztonsági megfontolások erősen behatárolják a karosszériában elhelyezhető gáz mennyiségét, mind a térfogat, mind a tömeg szempontjából. Fontos tényező a jármű elvárható mobilitási hatótávolsága, illetve az újratöltés lehetősége (kúthálózat sűrűsége).

Egy 2004-ben publikált adatsor szerint az Európai Unióban az energia több, mint 30%-át a közlekedési szektor használja fel. A metán meghajtású gépjárművek 20%-kal kevesebb CO<sub>2</sub>-t, 70%-kal kevesebb CO-t, 87%-kal kevesebb szerves anyagot („nem-metán”) és 87%-kal kevesebb nitrogén-oxidot bocsátanak ki a hagyományos üzemanyaggal meghajtott gépjárművekhez képest [6].

A földgáz energiasűrűsége halmazállapotából adódóan kb. három nagyságrenddel kisebb, mint a folyékony üzemanyagoké, ezért terjedtek/terjednek el az atmoszférikus nyomástól vagy a közönséges hőmérséklettől jelentősen eltérő tulajdonságú tárolási és felhasználási technológiák.

A már számos országban – így Magyarországon is elérhető – nagynyomású földgáz (compressed natural gas, CNG) 20–25 MPa nyomása megfelelő falvastagságú nyomásálló hengeres vagy gömb alakú tartályt és természetesen speciális, többfokozatú kompresszort igényel. Gépjárműveknél a CNG a jelenlegi körülmények mellett maximum 300 km utazási távolságot tesz lehetővé, mert energiataralma kb. 26%-a az azonos térfogatú cseppfolyós üzemanyagénak. A földgáz kondenzálásával az energiataralom ugyan háromszorosára növelhető, de a cseppfolyósított földgáz (liquified natural gas, LNG) nemcsak robusztus, de a metán forráspontjának megfelelő -160 °C alatti hőmérsékletet biztosító jó hőszigetelésű üzemanyagtartályt igényel. Az üzemanyagot tehát a töltés napján célszerűen fel kell használni. Ezért és a tartály nagy tömege miatt LNG-vel csak a nagy teherbírású járművek üzemeltethetők. A komprimált és a cseppfolyósított gáz technológia a biogázok felhasználása kapcsán is terjed: a biogazdaság rohamosan fejlődő szektora a bio-LNG és bio-CNG (sic!) [5].

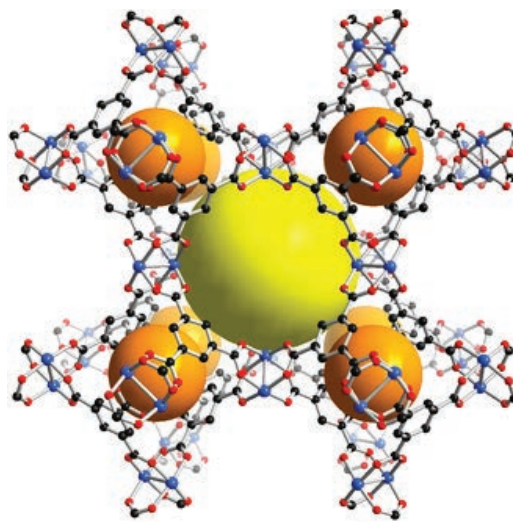
Mindezek ellenére, a nagynyomású (CNG), illetve kriogén (LNG) gáztárolási módszerek technikai és biztonsági okok miatt nem ideálisak. Ígéretes, biztonságosabb és gazdaságilag is megfelelőbb alternatívának ígérkezik az adszorpciós elven alapuló tárolás (adsorbed natural gas, ANG, vagy akár a bio-ANG). Ebben az esetben mind a nyomással, mind a hőmérséklettel szemben mérsékeltebbek az igények (3,5–6,5 MPa, közönséges hőmérséklet). Az Egyesült Államok energetikai hivatala (Department of Energy, DOE) 1995-ben határozta meg először, majd 2000-ben finomította tovább azt a tárolási kapacitásként megfogalmazott irányszámot, amelynek teljesülése esetén az adszorpciós elvű gáztárolás már gazdaságilag is reális alternatívát jelent [7]. Ennek értelmében az autóiipari alkalmazás akkor válik megvalósíthatóvá, ha az üzemanyagtartály 3,5 MPa nyomáson és 25 °C hőmérsékleten saját térfogatának 263-szorosát meghaladó mennyiségű gázt képes leadni. Vegyük észre, hogy ez nem a tárolt és nem is a megkötött, hanem a tankból felhasználható mennyiség [8]. Tömegre átváltva 0,5 g/g-nak felel meg. A célszámot 3,5 MPa nyomásra modellezték. Ekkor a technikai megvalósítása ugyanis még nem igényel sem különleges anyagú és alakú tartályt, sem többlépcsős kompresszort, a tartály alakja és térfogata akár hasonló lehet a jelenleg elterjedthez is. A biztonságtechnikai megfontolások ugyancsak az adszorpciós eljárás mellett szólnak. A három technológia legfontosabb jellemzőit foglalja össze a 2. táblázat.

2. táblázat. A nagynyomású, a kriogén és az adszorpciós gáztárolás néhány jellemzőjének összehasonlítása

	CNG	LNG	ANG
Nyomás, MPa	20-25	1	3,5-6,5
Hőmérséklet, °C	25	-160	25
Energiasűrűség, %*	26	72	19
Technológiai igény	nyomásálló tartály, többfokozatú kompresszor	hőszigetelt tartály	megfelelő adszorbens

\* a hagyományos üzemanyagokhoz képest

A DOE irányszámai komoly kihívások elé állítják az adszorbens-fejlesztést. Legígéretesebbek az ún. nanopórusos anyagok, melyek az 1 nm-nél kisebb méretű metán molekulákat nagy mennyiségben, kizárólag fizikai kölcsönhatások útján képesek tárolni. Az adszorpciós gáztárolásra irányuló kutatások nemcsak a már ismert szorbensek, így az aktív szenek fejlesztésében jelöltek ki új irányt, de egy új, extrém nagy fajlagos felületű anyagcsaládban, a fémorganikus térhálókbán (metal organic framework, MOF) rejlő lehetőségek feltárásának is eddig nem látott lendületet adtak. A MOFokban fém vagy fénoxid klaszterek és szerves összekötő molekulák alakítják ki a nagy porozitású 3D térhálós rendszert [9]. A metán tárolására legígéretesebb HKUST-1 fantázianevű fémorganikus térháló Basolite® C 300 néven már kereskedelmi forgalomban is megjelent (3. ábra).



3. ábra. A HKUST-1 fantázianevű MOF. A kék gömbök a réz, a piros az oxigén, a fekete gömböcskék a szén atomokat jelzik. A nagyméretű sárga és narancssárga gömbök a metán tárolására szolgáló, eltérő méretű pórusok által biztosított szabad térfogatot jelzik [10].

A kifejlesztésre váró adszorbenssel szembeni elvárások a következők [1]:

1. *Nagy metán adszorpciós kapacitást biztosító pórusszerkezet*  
Az adszorpció erőssége és a tárolási kapacitás megfelelő összhangja a pórusméret-eloszlás optimalizálásával érhető el. A túl szűk pórusok ugyan növelik az adszorpciós kapacitást, de megnehezítik a megkötött gáz kinyerését. Komplex, mikro- és szűk mezopórusokat tartalmazó pórusrendszerre van szükség<sup>1</sup>. Mivel a gömbszerűnek

<sup>1</sup> Az IUPAC ajánlása szerint a 2 nm-nél szűkebb pórusok megnevezése mikropórus, 2 és 50 nm közöttiek a mezopórusok és az 50 nm-nél tágabb pórusokat hívják makropórusnak [11]. A 0,7 nm-nél szűkebb pórusokat ultramikropórusnak is hívják.



3. táblázat. Néhány kiemelkedő metán megkötő képességű adszorbens

Adszorbens		Névleges felület*	Pórus-térfogat*	Mikropórus-térfogat*	Térfogat-súly	Váz-sűrűség	Tárolási		Kinyerhető	Hivatkozás
							kapacitás			
							m <sup>2</sup> /g	cm <sup>3</sup> /g	g/cm <sup>3</sup>	
F400	Kereskedelmi aktív szén	1070	0,55	0,40	0,91	2,18	144	0,11	90	[8]
Maxsorb		1800	0,83	0,64	0,67	2,22	169	0,18	123	[8]
RGC30		1440	1,13	0,52	0,59	1,90	133	0,16	97	[8]
LMA405	Aktív szén	3551	2,00	1,00	0,45	2,20	177	0,28	135	[8]
LMA738		3290	2,25	1,10	0,53	1,80	221	0,30	174	[8]
LMA726		3425	2,44	1,11	0,54	1,90	209	0,28	160	[8]
NU-111	MOF	4930	2,09	n.a.	0,409	n.a.	206	0,36	179	[12]
HKUST-1		1680	0,70	0,66	0,88	2,80	273	0,22	200	[12]
DOE cél							263	0,5	263	[7]

\*N<sub>2</sub> gőz adszorpció adataiból (-196 °C)

tekinthető metánmolekulák nagyobb sűrűséggel tudják kitölteni a rés alakú pórusokat, mint a hengereket, így az előbbi pórusalak hatékonyabb lehet a metán és a hozzá hasonló szuperkritikus gázok tárolására.

### 2. Gyors adszorpció/deszorpció kinetika

A követelmény önmagáért beszél. Ennek megfelelően vagy közvetlenül a részecskék külső felületéről elérhető mikropórusokat kell kialakítani, vagy megfelelő méreteloszlású pórusrendszert kell kialakítani a gyors hozzáférés biztosítására. A legígéretebbnek a hierarchikus pórusszerkezetű, ultramikropórusokat és mezopórusokat tartalmazó monolitokat tartják.

### 3. Reverzibilis működés

A tárolási és felhasználható kapacitás állandó kell maradjon a működés során. Az adszorbenshez a metánnál erősebben kötődő szennyezők az idő előrehaladtával ronthatják a reverzibilitást.

### 4. Térfogatsúly

Szemcsés anyagokban a szemcsék közti teret általában nem adszorbeált, hanem a tárolási körülmények (hőmérséklet, nyomás) által meghatározott állapotú gáz tölti ki, rontva a tárolási kapacitást. Ebből a szempontból is előnyösebbek tehát a monolitok. Gondot jelenthet azonban az adszorpció, illetve deszorpció során a folyamatok exoterm, illetve endoterm jellegéből adódó termikus valamint mechanikai igénybevétel (hőtágulás, zsugorodás, mechanikai feszültség) és az ennek következtében kialakuló kapacitásbeli változások.

### 5. Mechanikai és kémiai stabilitás

A mobilitással járó rázkódás okozta erózió az adszorbens aprózódásához vezethet, ami a kapacitások csökkenését vonja maga után (ld. térfogatsúly). A töltet nem léphet kémiai reakcióba sem a metánnal, sem annak esetleges szennyezőivel.

### 6. Hővezetőképesség

Amennyiben az adszorpció (töltési ciklus) során fejlődő hő felmelegedést okoz, ez csökkenti a töltési kapacitást. A felhasználás során a deszorpció viszont ellentétes hatást idéz elő, a hőmérsékletet csökkentve csökkenti a kinyerhető üzemanyag mennyiségét. Ezért is különös figyelmet kell fordítani a megfelelő hővezetőképességű szorbens kialakítására.

A szorbensek tulajdonságainak optimalizálása a felsorolt számos szempont szerint komoly kihívás elé állítja a kutatókat és mérnököket egyaránt. A 3. táblázatban néhány ígéretes aktív szén és MOF textúrájára jellemző adatot hasonlítottunk össze.

## Köszönetnyilvánítás

A munka a 2020-3.1.1-ZFR-KVG-2020-00006 számú projekt keretén belül a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-3.1.2-ZFR-KVG pályázati program finanszírozásában valósult meg

## Hivatkozásjegyzék

- K. Kaneko, F. Rodríguez-Reinoso (eds.) Nanoporous Materials for Gas Storage, Green Energy and Technology, Springer, 2019
- NaturalGas.org. <http://naturalgas.org/overview/background/> (utolsó megtekintés: 2021. 03. 30.)
- Y. Li, C.P. Alaimo, M. Kim, N. Y. Kado, J. Peppers, J. Xue, C. Wan, P. G. Green, R. Zhang, B. M. Jenkins, C. F.-A. Vogel, S. Wuertz, T. M. Young, M. J. Kleeman: Composition and Toxicity of Biogas Produced from Different Feedstocks in California. Environmental Science and Technology, 2019, 53, 11569-11579.
- EBA Statistical Report 2018 (utolsó megtekintés: 2021. 03. 30.)
- EBA Statistical Report 2020 (utolsó megtekintés: 2021. 03. 30.)
- How you can benefit from CNG conversion. CNG United, San Clemente, CA. <http://www.cngunited.com/support/howyoucanbenefitfromcngconversion>. (utolsó megtekintés: 2018. március)
- DOE MOVE program at <http://arpa-e.energy.gov/>; Methane Opportunities for Vehicular Energy, Advanced Research Project Agency-Energy, U.S. Dept. of Energy, Funding Opportunity No. DE-FOA-0000672, 2012.
- M. E. Casco, M. Martínez-Escandell, E. Gadea-Ramos, K. Kaneko, J. Silvestre-Albero, F. Rodríguez-Reinoso: High-Pressure Methane Storage in Porous Materials: Are Carbon Materials in the Pole Position? Chem. Mater. 2015, 27, 959–964.
- Domán Andrea: Fémorganikus térháló – nanostrukturált szén kompozitok. PhD Értekezés; BME Oláh György Doktori Iskola, 2021
- Tony Boehle ábrája, letöltve a <https://en.wikipedia.org/wiki/HKUST-1> címről (utolsó megtekintés 2021. március 30.)
- M. Thommes, K. Kaneko, A. V. Neimark, J. P. Olivier, J. F. Rodríguez-Reinoso, J. Rouquerol, K. S. W. Sing: Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution. (IUPAC Technical Report) Pure Appl. Chem. 2015, 87, 1051–1069.
- Y. Peng, V. Krungleviciute, I. Eryazici, J. T. Hupp, O. K. Farha, T. Yildirim: Methane Storage in Metal–Organic Frameworks: Current Records, Surprise Findings, and Challenges. J. Am. Chem. Soc. 2013, 135, 11887–11894.

# Szén-dioxid pandémia

Reményi Károly

az MTA rendes tagja, kremnyi@gmail.com

A jelenleg használt klímamodellek szerinti számításokhoz a világ legfejlettebb szuper számítógépeire van szükség. Az éghajlati modellek létrehozásakor az alapvető fizikai elvek, leginkább a megmaradási törvények (tömeg, energia és impulzus) teljesülnek. Az impulzus megmaradást leíró Navier-Stokes egyenlet az egyik legfontosabb, amely a légköri gázok és az óceáni víz sebességét, nyomását, hőmérsékletét és sűrűségét írja le. Az energiamérleg-modellek (EBM, Energy Balance Model) a legkorábbi és legalapvetőbb numerikus klímamodellek. A későbbi „Földrendszer-modellek” (ESM, Earth System Model) szimulálják a szén ciklust, a nitrogén ciklust, a légköri kémiát, az óceánökológiát, valamint a növényzet és a földhasználat változásait, amelyek mind befolyásolják, ahogyan az éghajlat reagál az emberi eredetű üvegházhatású gázok kibocsátására. A sztochasztikus klímamodellek lényeges jellemzője, hogy a nem átlagolt „időjárás” komponensek is megmaradnak. Formálisan véletlenszerű „kényszerként” jelennek meg. Az összekapcsolt óceán-légkör-krioszféra-szárazföld rendszer egy gyorsan változó „időjárás” rendszerre (lényegében a légkör) és egy lassan reagáló „klíma” rendszerre (óceán, krioszféra, szárazföldi növényzet stb.) oszlik. A visszacsatolás stabilizálása nélkül a modell az éghajlati változékonyság folyamatos növekedését jósolja. A Vostok jégmag-adatai négy éghajlati ciklusra terjedt ki. A Vostok éghajlati ciklusok főbb jellemzői hasonlítanak a korábbi ciklusokban megfigyeltékhez.

\*

Calculations based on the climate models currently in use require the world's most advanced supercomputers. Compliance with basic physical principles is fundamental in maintaining climate models, most notably the fulfillment of the laws of mass, energy, and impulse conservation. The Navier-Stokes equation, which describes impulse conservation, is one of the most important describing the velocity, pressure, temperature, and density of atmospheric gases and ocean water. Energy Balance Models (EBM) are the earliest and most basic numerical climate models. The Earth System Model (ESM) simulates the carbon cycle, nitrogen cycle, atmospheric chemistry, ocean ecology, and changes in vegetation and land use, all of which influence the climate's response to anthropogenic greenhouse gas emissions. An essential feature of stochastic climate models is that not averaged “weather” components are also preserved. They appear formally as random “constraint” expressions. The interconnected ocean-atmosphere-cryosphere-land system is divided into a rapidly changing “weather” system (essentially the atmosphere) and a slow-reacting “climate” system (ocean, cryosphere, terrestrial vegetation, etc.). Without stabilizing feedback, the model predicts a steady increase in climate variability. Vostok's ice core data have spread to four climate cycles. The main characteristics of Vostok climatic cycles are like those observed in previous cycles.

\*\*\*

Jelen elemzés aktualitását az adja, hogy a közelmúltban két igen fontos esemény történt a klíma kutatások területén. Az egyik, hogy a 2021-es fizikai Nobel Díjat három fő, köztük két klímakutató kapta, a másik pedig az, hogy az UN Nemzetközi Klíma Konferencia 26-ik összejövetelét 2021-ben Glasgow-ban tartotta. A konferencia résztvevői meg kellett, hogy állapítsák, az előző 2015-ös párizsi összejövetel célkitűzései nem teljesültek sem szakmai, sem pedig a fejlődő országok anyagi támogatása tekintetében. A glasgow-i egyezmény még kevésbé mondható eredményesnek, mint a párizsi, mivel lényegében az akkori célkitűzések ismétlése mellett a szén bázisú energiafejlesztés kivezetésében kemény konfrontáció alakult ki – India és Kína vezetésével – és teljesen erőtlenné határozta a született. Később Ausztrália is bejelentette, hogy a szén még sok évtizedig fontos lesz az ország számára és a szén kivezetését lassító Kína is módosított eredeti elképzeléseit. Úgy tűntek ki célul a fejlődő országok támogatására létrehozott alap növelését, hogy a korábbi célkitűzés sem teljesült. Mindemellett a tudósokra hivatkoznak, hogy az 1,5 °C-nál nagyobb felmelegedés esetén a klímaváltozás folyamata visszafordíthatatlan. Ez méltánytalan megállapítás, a tudósok egy jelentős része nem osztja ezt a véleményt, mivel az állítás tudományos megalapozottsága nem igazolt. Ha a vélemény mellett kiálló kutatók számszerűleg többséget is alkotnának (nincs így), akkor sem lenne összeegyeztethető ez az állásfoglalás a tudomány módszerével, mivel tudományos kérdéseket nem lehet konszenzussal eldönteni. A témában az ellenkező véleményeket valló kutatók gyakorlatilag nem kapnak publicitást. Mindössze néhány nagy kutatóhelyen kidolgozott modellek eredményei terjednek a világban, a modellek részleteinek ismerete nélkül. Fontosabb lenne a valóságos klímaváltozás hatásainak kompenzálására koncentrálni, semmint indokolatlanul nagy pánikkeltéssel a szükséges intézkedéseket hátráltatni.

Az utóbbi másfél évtized alatt a korábbi, meglévő adatok feldolgozásával elemeztem a klímaváltozást érintő természeti jelenségeket és intézkedéseket. Annak ellenére, hogy energetikus vagyok, a termodinamikában és hőtanban járatos ember, nem ártottam bele magam mélyebben a klímakutatás kérdéseibe, csak a globális hőmérséklet témáját vettem vizsgálataim tárgyává. Tettem ezt azért, mert bár minden kutató azzal kezd, hogy a Föld klímáját számtalan paraméter és kölcsönhatás befolyásolja, végül mindenki a globális hőmérséklet változásánál és a szén-dioxid szerepénél köt ki. Lényegesen felértékelik a szén-dioxid szerepét, ezzel világméretű változásokat kiváltva az energetikában, egyszersmind hihetetlen gazdasági terhet rakva az emberiség vállára. A klímamodellek elképzelhetetlen burjánzása mellett gyakorlatilag elég nagy bizonytalansággal, de igyekeznek egy sávon, az 1,5–2 °C közötti intervallumon belül tartani a megengedhető hőmérsékletnövekedést a klímakatasztrófa elkerüléséhez.

A globális hőmérséklet fogalmára bár definíció létezik, a valóságban ez is sok sebből vérzik. Elméleti probléma, hogy noha a hőmérséklet intenzív paraméter, a globális hőmérséklet gyakorlati ellenőrzésére alkalmazott módszer során, a világ sok ezer labo-

ratóriumában mért érték feldolgozásakor számtani összeadást végezve, átlagolással nyerik a globális hőmérséklet értékét. Ennek így nincs fizikai tartalma, és semmilyen folyamatban sem használható paraméterként. Ugyanakkor nem csak a használt globális hőmérséklet fizikailag megalapozott használhatóságát kérdőjelezem meg, de további problémákat is felvetek, felhasználva a rendelkezésre álló irodalmat és mérési adatokat. Azért osztom meg kéteyleimet, mert a 2021. évi megosztott fizikai Nobel Díjban két kutató tevékenysége szorosan a klímamodellezéshez kapcsolódik. Közel ötven évvel ezelőtti munkájuk képezte az alapot az elismeréshez. Az indok:

Syukuro Manabe és Klaus Hasselmann: „a globális felmelegedés megbízható előrejelzését és mennyiségi variabilitását leíró modell készítéséért a Föld klímájáról”.

## A modell típusok és az eredmények

Míg az időjárás néhány napra jóslható előre, az éghajlat bizonyos elemei a klímamodellezők álláspontja szerint évtizedekre és talán még tovább is megjósolhatók [1].

A legkorábbi és alapul szolgáló numerikus éghajlati modellek, az EBM-ek (Energy Balance Model), nem az éghajlatot szimulálják, hanem a Napból a Föld légkörébe jutó energia és az ürbe visszakerülő energia egyensúlyát veszik figyelembe. Az egyetlen klímaváltozó, amelyet kiszámítanak, a felszíni hőmérséklet. E modellek közül sok „nulladimenziós”, vagyis a Föld egészét kezeli [2].

Az EBM-ek mellett továbblépést jelentenek a sugárzásos konvektív modellek, amelyek az atmoszférán keresztül végbe menő energiaátvitelt szimulálják (például szabad áramlás – free convection – amikor a meleg levegő felemelkedik).

A következő szinten a GCM-ek (General Circulation Model), azaz globális cirkulációs klímamodellek állnak, amelyek magát az éghajlat fizikáját szimulálják. Ez azt jelenti, hogy vizsgálják a légkörben és az óceánokban a levegő és a víz áramlását, valamint a hő-viszonyokat.

A korai GCM-ek a Föld rendszerében külön szimulálták – „csak a légkörben” vagy „csak az óceánban” – létrejövő folyamatokat háromdimenziós rendszerben. A GCM-ek az éghajlati rendszer legfontosabb, determinisztikusan leírható fizikai folyamatait veszik figyelembe, ezért számításigényük rendkívül nagy, az eredmények időbeli és térbeli felbontását a számítógépek mindenkori teljesítő-képessége határozza meg. A jelenlegi GCM-ek a CO<sub>2</sub> növekedése következtében beálló általános cirkuláció jellemzőit évszakos átlagokban és kontinentális térszkálán megfelelően tükrözik, azonban a 2-300 km-es rácsávolság miatt szükségszerűen figyelmen kívül hagyják az időjárást közvetlenül kialakító mezo skálájú folyamatokat, pl. frontok, ciklonok vagy anticiklonok hatását. Lényegében az összes AGCM (Atmosphere General Circulation Model) egyszerű egyenletrendszeren alapul, amely a konvektív fel- és leáramlási folyamatokat (pl.: gomolyfelhők, zivatarok, rendezett konvekció) csak parametrizáció segítségével tudja kezelni. Az egyes AGCM-ek az alkalmazott egyenletrendszerben alapvetően nem különböznek egymástól, de számítási algoritmusuk jelentős mértékben eltérhetnek. További különbségek jelentkezhetnek a használt koordináta-rendszerben, valamint a rácsmátrix geometriájában és felbontásában. Ma már minden modellben felszínkövető koordinátarendszert alkalmaznak, amelyben a földfelszín a koordinátafelület. E nélkül nem lehetséges ugyanis pontos peremfeltételek megadása, a domborzati hatás és a sűrűlási impulzusáram, valamint a felszíni hő- és nedvességáram pontos leírása. Egyes modellekben

a sztratoszféra jellemzésére csak egy-két mesterséges réteget alkalmaznak, mely reprezentálja a tropopauza helyzetét.

Az első globális éghajlatmodellekben a talajmodellek szerepe arra korlátozódott, hogy konzisztens (a tömeg-, impulzus- és energiamérleg feltételeket kielégítő) peremfeltételeket biztosítsanak az AGCM számára [3].

Ettől a nagyon egyszerű kezelési módtól napjainkig a talaj-bioszféra modellek rendkívül nagy utat tettek meg bonyolultságukban és valósághűségükben egyaránt. Természetesen ez a talajmodellek egymástól való eltérésének növekedését eredményezte.

A „csatolt” modellek egyesítették a különböző szempontokat, összekapcsolva több modellt az éghajlati rendszer átfogó ábrázolása céljából. Az összekapcsolt atmoszféra-óceán általános cirkulációs modellek „AOGCM-ek (Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation model) szimulálhatják például a hő- és édesvízcserét a szárazföld és az óceán felszíne, valamint a felette lévő levegő között. Jelenleg a legösszetettebb éghajlatmodellek az AOGCM-ek. E modellek, a mind több éghajlati folyamat figyelembevételével és beépített modul révén az éghajlati rendszer dinamikájának egyre egzaktabb reprezentációját kívánják adni. Az AOGCM-ek használatának legnagyobb korlátja jelenleg a grandiózus számítógépkapacitás igény. Ezért, ha nem a világ legnagyobb teljesítményű szuperszámítógépén futtatunk egy ilyen modellt, csak néhány évtizedes időtávú szimulációt végezhetünk [2].

Az elmúlt évtizedekben a modellezők fokozatosan beépítettek több modellkomponenst a globális csatolt modellekbe. Ezeket a külső tényezőket „kényszereknek” nevezik. Ide tartoznak a nap teljesítményének változásai, a hosszú élettartamú üvegházhatású gázok, például a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>), a metán (CH<sub>4</sub>), a dinitrogén-oxidok (N<sub>2</sub>O) és a halogén-szénhidrogének, valamint a fosszilis tüzelőanyagok égetésekor és az erdőtüzekből származó apró részecskék, amelyeket aeroszoloknak neveznek és vulkánkitörések során is megjelennek stb.

Ma a legtöbb modell-előrejelzés egy vagy több „reprezentatív koncentrációs útvonalat” RCP-t (Representative Concentration Pathway) használ, amelyek a ma ismert helyzet alapján leírásokat nyújtanak a jövőről, és a globális társadalom növekedésének és fejlődésének társadalmi-gazdasági forgatókönyvei alapján készülnek. A modellek a múltbeli kényszerekre vonatkozó becsléseket is felhasználják. Az éghajlati modellek szinte teljes képet próbálnak alkotni a Föld éghajlatáról.

A vizsgálatra felhasználják hogyan változott az éghajlat az elmúlt 100, 1000 vagy akár több ezer évben. A múltbeli kényszereket a Föld keringési pályájában bekövetkezett változások, az üvegházhatású gázok történelmi koncentrációi, a múltbeli vulkánkitörések, a napfoltszám változásai és a távoli múlt egyéb feljegyzései alapján becsülik meg [2].

A modellekkel becsléseket készítenek a havazásról, csapadékról, hótakaróról, valamint a gleccserekről, jégtakarókról és tengeri jég kiterjedéséről stb. Ezek befolyásolják a szél sebességét, erősségét és irányát, valamint az éghajlati jellemzőket és az óceáni áramlatokat.

Az éghajlati modellekkel „klímaérzékenység” becslést is készítenek, vagyis kiszámítják, hogy mi történne, ha mondjuk hirtelen megdupláznánk vagy megnégyszerezelnék a CO<sub>2</sub> koncentrációt.

Manabe már az 1960-as évek közepétől csatlakozott a klímamodellezőkhöz. Először külön cirkulációs modellt készített a légkörre és a tengeri áramlásokra, majd később egy modellben összekötötte a két folyamatot. A paraméterek között szerepelt a légköri



szén-dioxid koncentráció változása és a globális hőmérséklet közötti kapcsolat is [4].

Egyszerűsített háromdimenziós általános keringési modell segítségével próbálta megbecsülni a CO<sub>2</sub> koncentráció megkétszerezéséből adódó hőmérsékletváltozásokat. Kimutatta, hogy a CO<sub>2</sub> növekedés a modell szerint növeli a troposzféra, de csökkenti a sztratoszféra hőmérsékletét. A troposzféra felmelegedése valamivel nagyobb, mint a sugárzási-konvektív egyensúlyi modelltől várható. Azt is kimutatta, hogy a szén-dioxid megkétszerezése jelentősen megnöveli a hidrológiai ciklus intenzitását. Eredményeik egy részlete a táblázatban látható.

1. táblázat. A Föld felület egyensúlyi hőmérsékletének (K) növekedése CO<sub>2</sub> koncentráció megkétszereződésével.

CO <sub>2</sub> változás, ppm	R-W modell	M-W modell	G-C modell
300 → 600	+1,95	+2,36	+2,93

A táblázatban a G-C (általános cirkulációs) a teljes földfelületre érvényes.

Az M-W modell (Manabe és Wetherald) a sugárzási-konvektív egyensúlyi modell (1967) amelyet magába foglal az M-W általános cirkulációs modell is. Összehasonlítói értéként látható az R-W sugárzási modellel (1966) számolt érték, amely modellt Stone és Manabe módosított (1968). Figyelemre méltó, hogy az általános cirkulációs modellel kapott érték jelentősen nagyobb, mint a sugárzási modellekkel nyert érték. Manabe folyamatosan fejlesztette modelljeit, más-más paraméterek figyelembevételével. A szén-dioxid szerepének vizsgálatánál kétszeres koncentráció esetén 2 °C, négyszeres értéknél 4 °C-ot kapunk. Az 1980-ban írt cikkben ezt írja: „A globális átlagos felszíni levegő hőmérsékletének növekedése a levegőben lévő CO<sub>2</sub> koncentráció négyszeresére reagálva, körülbelül 4 °C. Ez az eredmény azt sugallja, hogy a CO<sub>2</sub> tartalom megduplázódása okozta felmelegedés körülbelül 2 °C lenne. Ez kevesebb, mint [4] szerint az 1. táblázatban található általános keringési modellből kapott 3 °C-os felmelegedés, amely idealizált földrajzi helyzetet mutat, és szezonális ingadozásoktól mentes” [5].

A széles körben fordulnak elő a természetben nemlineáris jelenségek, látszólag különböző összefüggések, például hidrodinamikai turbulencia, kémiai kinetika, elektronika, ökológia és biológia területén, mégis gyakran hasonló módon tanulmányozzák azokat. Dinamikus rendszer alatt minden olyan rendszert értünk, amely differenciálegyenletekkel vagy iteratív leképezésekkel matematikailag leírható, bármilyen természetű is legyen. Ez a hasonlóság eredménye. A hasonlóság lehetővé teszi, hogy a nemlineáris dinamikus rendszerekben kialakult kaotikus viszonyokat a káosz modern elméletével kísérjük meg elemezni. A káoszban egyidejűleg rend (fizikai egyenletek) és zavar (sztochasztikus változások) is jelen vannak.

A Föld légkörének a bonyolultága miatt, a káosz elmélet nagyon csábít arra, hogy a hasonló jelzőkkel jellemezhető légköri rendszer jövőjének megismerésére használjuk fel. Már az 1970-es években elkezdődtek a sztochasztikus modellezések a kaotikus problémák megkerülésére. A helyzetet mégis jellemzi az IPCC jelentése, a 2001 TAR [6]. A tudományos alapok fejezetben a klímában uralkodó folyamatoknak a káosz jellegét hangsúlyozza, de sajnos a végső elemzéseikben ezt nem veszik figyelembe. A megállapítások az interneten is megtalálhatók [6]. Ezután érthetetlenek azok a határozott javaslatok, amelyekkel a klímaváltozás alapján

súlyos döntésekre vették rá a világ társadalmát. A pontos megértés ellenőrzéséhez fontos az eredeti angol szöveg közlése is. IPCC, Chapter 14: Az éghajlati rendszer egy összekapcsolt nemlineáris kaotikus rendszer, ezért a jövőbeni éghajlati állapotok hosszú távú előrejelzése nem lehetséges. („The climate system is a coupled non-linear chaotic system, and therefore the long-term prediction of future climate states is not possible.”). A komplex, kaotikus, nemlineáris dinamika az éghajlati rendszer egyik alapvető sajátossága. („These complex, chaotic, nonlinear dynamics are an inherent aspect of the climate system.”) [6]. Ehhez képest, bár bizonyos tartományban, de mégis elég kemény, a társadalomra, az energetikára és a világra vonatkozóan elég határozott következtetéseket vonnak le, és javaslatokat tesznek.

A káoszelmélet olyan egyszerű nemlineáris dinamikai rendszerekkel foglalkozik, amelyek viselkedése az őket meghatározó determinisztikus törvényszerűségek ellenére, a törvényszerűségekkel nem jelezhető hosszú időre előre. A káoszelmélet azonban kimutatta, hogy egyszerű, néhány állapotjelzővel leírható determinisztikus rendszerek is mutathatnak összetett, megjósolhatatlan viselkedést. Determinisztikus voltuk ellenére a kaotikus rendszereket elsősorban statisztikus módszerekkel írják le. Edward Lorenz 1963-as cikkében [7] bemutatta a nemlineáris rendszerekben tipikusan jelenlevő érzékenységet a kezdőfeltételek kicsiny eltéréseire. „Ha igaz az, hogy a légkör-megfigyelés kezdete óta két esemény analóg, analógok következnek, a légkör a megfigyelés óta periodikus, az egymást követő analógok állapotai eltérőek lehetnek, egyetlen előrejelzési rendszer sem tudott helyes eredményt adni egyik alkalommal sem” („if it is true two analogues have occurred since the atmosphere observation first began, it follows analogues, since atmosphere has been observed to be periodic, the succession of states following these analogues must eventually have differed, and no forecasting scheme could have given correct result both times.”). Lorenz kijelentette, hogy az időjárás és a légkör viselkedése kaotikus, ami azt jelenti, hogy viselkedésük hosszú távú előrejelzése lehetetlen, ez a rendszer alaptulajdonsága [7]. Habár a légkör igen sok szabadságfokú rendszer, bizonyos földrajzi helyeken és bizonyos időpontokban viszonylag kevés összetevőből álló rendszerként viselkedik. Ekkor megvizsgálható, hogy hol különösen érzékeny a rendszer a kezdőfeltételekre. Léteznek olyan klímamodellek is, amelyek viszonylag kevés változóval írják le a folyamatokat, és egy adott szakaszban kaotikus viselkedést mutathatnak. A káoszelmélet egyik fő jellemzője a globális keveredés. A klímamodelleknél például legfontosabb változóként az üvegházgáz-koncentráció növekedés szerepel, következményként pedig a globális hőmérsékletnövekedés. A klíma kialakításában sok fizikai, kémiai és biológiai folyamat szerepet játszik, amelyek között számos, önmagában is kaotikus jelleget mutat. Hatásuk külön és kölcsönhatásukban is fontosak a Föld klímájának alakulásában. Tél Tamás szerint „a légkör egésze szempontjából nem is beszélhetünk determinisztikus káoszlól, hiszen a rendszerben lényeges szerepet játszó összetevők száma messze nem csekély. Így csak az időjárás bizonyos vonásai szempontjából lehet szó káoszlól és a hozzá tartozó attraktorról”. A kezdeti feltételektől való érzékeny függés alapján a nemlineáris rendszer összefüggésben áll a rendszer aperiodikus viselkedésével [8]. Bonyolult rendszerek is viselkedhetnek egyszerűen (pl. koherens struktúrák) és így bizonyos ideig jóslhatók. A káosz a rend és a rendetlenség egyesítésére, valamint a determinisztikus és sztochasztikus leírások egyesítésére vezet, hídként működik közöttük. Ez persze nem jelenti azt, hogy



ha a légkör vizsgálatára használjuk, a légkör determinisztikus, mert több külső kényszer (pl.: a szoláris hatás) sztochasztikus marad.

Káoszelmélet szerint a disszipatív dinamikus rendszerekben (pl. a légkör) bármilyen nagy az eredeti fázistér, a végső állapotát az alterekben lévő mozgások sokkal alacsonyabb dimenziókkal írják le.

Matematikai értelemben a probléma az, hogy a sztochasztikus kényszer hogyan befolyásolja egy determinisztikus dinamikus rendszer invariáns mértékét. A sztochasztikus kényszer nem csak a szórást, hanem az átlagot is megváltoztatja [9].

Bár a légkör és az óceán mozgását a Navier-Stokes egyenlet írja le, a nagy léptékű áramlások gyakran modellezhetők hidrosztatikus közelítéssel. Ez determinisztikus primitív egyenletrendszerhez vezet. Ha a folyamatos kis léptékű fluktuációkat sztochasztikus kifejezésként akarjuk ábrázolni, akkor ezeknél az egyenleteknél lehetővé kell tenni a sztochaszticitást. A numerikus időjárás és klímamodellezés modellredukciós problémának tekinthető. Mivel a teljes folytonos egyenleteket numerikusan nem tudjuk megoldani, az egyenleteket valamilyen léptékben csonkolunk kell. Az alapötlet az, hogy az állapotvektort lassú és gyors komponensekre bontjuk, a gyors folyamatokat sztochasztikus taggal ábrázoljuk, és analitikusan használjuk a lassú, kiszámítható módusok hatékony egyenletét. A sztochasztikus megközelítéseknek ki kell egészíteniük a determinisztikus fizikai folyamatparaméterek és a dinamikus alap fejlesztéseit.

Éghajlati változások külső tényezők változásának hatására jöhetnek létre, mint például a naptevékenység, a Föld keringési paraméterei, vagy megnövekedett légköri zavarok, vulkánkitörések stb. Az éghajlatváltozásoknál nagyon fontos a belső légkör-óceán-krioszféra-föld visszacsatolási mechanizmusok hatása. A pozitív visszacsatolás felerősíti a rendszerre ható külső paraméterek befolyását, és ha kellően erős, instabilitást eredményezhet, spontán átmenetet egy éghajlati állapotból egy másikba. A légkört elismerően kaotikus rendszerként definiálják. Hosszabb távon az állapotát sztochasztikus paraméterek alkalmazásával kísérlik megjósolni.

A sztochasztikus kényszer bevezetésének hatása vizsgálható egyszerű statisztikai dinamikus modellel. A sztochasztikus modell a szokásos statisztikai dinamikus éghajlati modellekkel ellentétben nem az átlagolt időjárás ingadozások belső véletlenszerű kényszerreit használja. Az éghajlati változók nem determinisztikusak, hanem sztochasztikus változók, amelyek szórás spektrumaikkal jellemezhetők. A Föld éves és övezetileg átlagolt felszíni hőmérsékletének számított varianciaspektruma összhangban van a spektrum minőségi szerkezetében és az energiaszintek nagyságrendjében megfigyeltekkel. Olyan jellemzőket foglal magában, mint a nagy amplitúdójú nemlineáris hullámok, koherens struktúrák és a mintaképzés. A káoszelmélet fraktáldimenziókat használ, Ljapunov kitevőket és a Kolmogorov-Sínai entrópiát, szélessávú zaj van jelen. A Ljapunov-kitevők a közeli pályák exponenciális divergenciájának vagy konvergenciájának átlagos mértéke. A Ljapunov-kitevők spektruma a kitevők nemlineáris érzékenységének kvantitatív mértéke. Ha a Ljapunov-kitevők a sztochasztikus modellekben pozitív értékekkel rendelkeznek, igazolják a káosz jelenlétét az adott rendszerben, de lehetnek olyan régiók, ahol a Ljapunov-kitevő negatív, és ott léteznek fizikai egyenletekkel való megoldások. A kaotikus folyamatban előfordulnak bifurkációkhoz, turbulenciához vezető útvonalak [10].

A sztochasztikus modelleknek is fontos eleme a paraméterezés. Az elmúlt évtizedben a sztochasztikus paraméterezés sikeres volt a rövid távú, közepes hatótávolságú és szezonális prognózisokban.

Az időjárás központok rutinszerűen használják sztochasztikus paraméterezési sémákat. A kvantitatív időjárás-előrejelzésben a sztochasztikus paraméterek bevezetése ígéretes a CO<sub>2</sub> növekedés hatásának felmérésében. A sztochasztikus modellek paraméterezése tapasztalati, vagy matematikai és statisztikai fogalmakon alapulnak, így a modellek pontossága természetesen a kutató ügyességétől is függ (skill faktor). A sztochasztikus modellek paraméterezésénél a fehér zaj által jellemzett, gyorsan váltakozó folyamatok és a lassú folyamatok között különböző időskálák vannak [9].

A klíma folyamatainak kaotikus jellegét általánosan elismerve mégis sok kutató megkísérli a sztochasztikus folyamatoknak a klímamodellekbe való beépítését. Az elsők között volt a 2021. év fizikai Nobel Díjának egyik díjazottja, Klaus Hasselmann. Gyakran kapcsolat van a térbeli és időbeli variabilitási események között, a rövid idejű gyors és a hosszú idejű lassú folyamatokat illetően. A fizikai folyamatok időbeli lefolyása szerinti megkülönböztetés lehetővé teszi tér és idő folyamatok szétválasztását. Ez alapozta meg Hasselmann 1976-os úttörő tanulmányát, amely az óceán-légkör összekapcsolt rendszerét lassú óceáni és gyors időjárás ingadozásokra bontotta. Hatékony egyenletet vezetett le külön az óceán keringésére [11] (Hasselmann 1976).

Hasselmann a klímaváltozás sztochasztikus modelljében a lassú változások mellett beintegrálja a random viselkedésű rövid periódusú „időjárás” diszturbanciákat. Az óceán-légkör-krioszféra-szárazföldi rendszert gyorsan változó „időjárás” rendszerre (lényegében a légkörre) osztja és lassú „éghajlati” rendszerre (óceán, krioszféra, szárazföldi növényzet stb.). A szokásos SDM (Statistical Dynamical Model) statisztikus dinamikus rendszer a gyorsan változó időjárás komponenseket átlagolva parametrizálja. A prognosztizálást determinisztikus egyenletekkel végzi és az éghajlatváltozás általában csak változó külső körülmények miatt jöhet létre. A sztochasztikus éghajlati modellekben az „időjárás” komponensek átlagolás nélkül megmaradnak. Formálisan véletlen kényszerek jelennek meg. Az éghajlati rendszer, integrálva ezt a rövid periódusú gerjesztést, ugyancsak véletlenszerű választ ad. Stabilizáló visszacsatolás nélkül a modell analóg módon az éghajlatváltozás folyamatos növekedését jósolja.

Hasselmann óta a sztochasztikus klímamodellezés irodalma óriásira dagadt. Az ELTE-n számos színvonalas disszertáció, tanulmány született, de jelentős a száma más hazai kutatóhelyekről kikerülő dolgozatoknak is. Általános alkalmazásuk azonban nem lett széleskörű. Érdekes, hogy az ELTE 2013-ban kiadott, Bartholy Judit és Pongrácz Rita szerkesztésében egy összesen kilenc kiváló klímakutató részvételével készült Klímaváltozás című kítűnő munkát. Az éghajlat-modellezés története fejezetben a sztochasztikus modellezésről nem esik szó [12]. A Nobel Díjas Hasselmann nem szerepel az irodalomjegyzékben sem. Idézni kell a könyv akkori állásfoglalását, amely egyben az előbb írtakat érthetővé teszi: „A modellekbe vetett bizalom első forrása az, hogy olyan fizikai alaptörvényeken nyugszanak (mint a tömeg-, az energia- és az impulzus-megmaradás törvénye), melyek érvényessége vitathatatlan. A bizalom második forrása azon alapszik, hogy a modellek képesek visszatükrözni a jelenlegi klíma legfontosabb jellegzetességeit. A modellekbe vetett bizalom harmadik forrása abból fakad, hogy képesek az elmúlt korok éghajlatának és éghajlatváltozásainak reprodukálására”.

A modellezés két fő irányának nagyvonalú áttekintése után az általános helyzetre és a jelenlegi klímaváltozási szemléletre néhány megjegyzést tenni mindenképpen szükséges.

A klímamodellezésre világszerte óriási szellemi és anyagi befektetést fordítanak. A közölt kutatási eredmények hatása jelentős tudományos, gazdasági és politikai változásokat hozott létre és hatása lehet a jövőre. Ennek felelősségét a tudomány nem háríthatja el magától. Érdemes lenne az eddigi rendkívül sok kutatási, mérési tapasztalat alapján először a tudományos körökben érdekektől és presztízstől mentes, tényekkel alátámasztott vitákat lefolytatni, és megállítani az energetikának, továbbá az egész gazdaságnak a vesztébe rohanását. Az energetikában kikényszerített és elkövetett tévedések következményeinek első jelei kezdenek éledezni, mint például a német Energiewende csődje, országok készülődése korlátozásokra, egekbe szökő energiaárak.

Az alapokhoz visszanyúlva néhány gondolatébresztő ténnyel hívom fel a figyelmet a szén-dioxiddal kapcsolatos állítások tartathatatlanságára és újragondolásának szükségességére. A geofizika és a klímakutatás nagyon sok értékes mérési adattal szolgál a vélemények alátámasztására. A sarki jégfuratok alapján már sok százezer évre visszamenőleg tehetünk becsléseket.

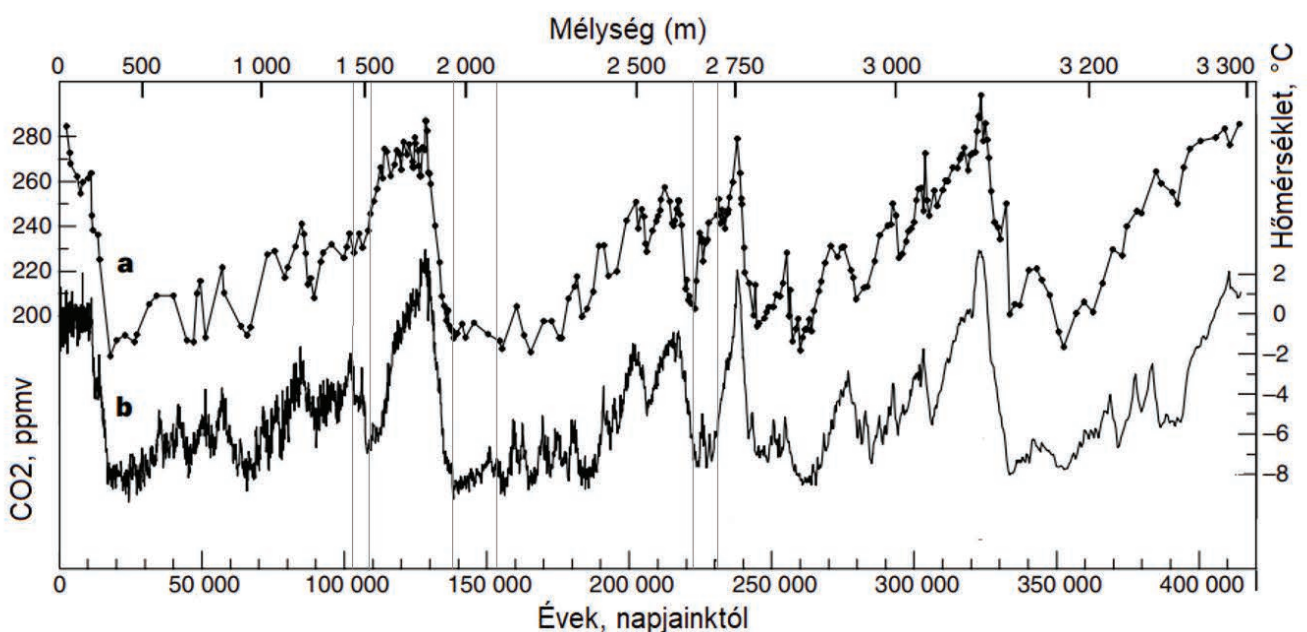
A Föld éghajlatváltozásai időtartamuk szerint négy csoportba sorolhatók és ennek megfelelően változnak a hőmérséklet értékek megállapítására vonatkozó lehetőségeink is. A ma felismerhető leghosszabb időtartamú változások, a meleg és hideg klímazakaszok (106–108 éves váltakozások) következményei viszonylag jól ismertek, kiváltó okai azonban ismeretlenek. A közepes időtartamú (104–105 év) változások egyértelműen periodikusnak bizonyultak, és jól összeegyeztethetők a Föld pályaelemeinek (precesszió, tengelyferdeség, excentricitás) változásaival. A rövid időtartamú (1–103 év), periodikus változások hatásai üledékképződésekkel jól kimutathatók, de az okok csak valószínűsíthetők. Jelenleg egy nagyobb időtávú hűlési klímazakaszban vagyunk. A földtörténeti negyedidőszak kezdete a pleisztocén, amit eljegesedések jellemeztek. A Föld korábbi jellemző hőmérsékleteinek megállapítására, a rendelkezésre álló kutatási technikák közül leginkább jégfuratokból kapott értékek használatosak. A hőmérsékletváltozás hajtóerejeként leggyakrabban a szén-dioxidkoncentráció változását jelölik meg, és korrelá-

cióról beszélnek. A Vostok mérésekben olyan több-ezer éves szakaszok is találhatóak, amikor a két paraméter változásának jellege azonban ellentétes (1. ábra).

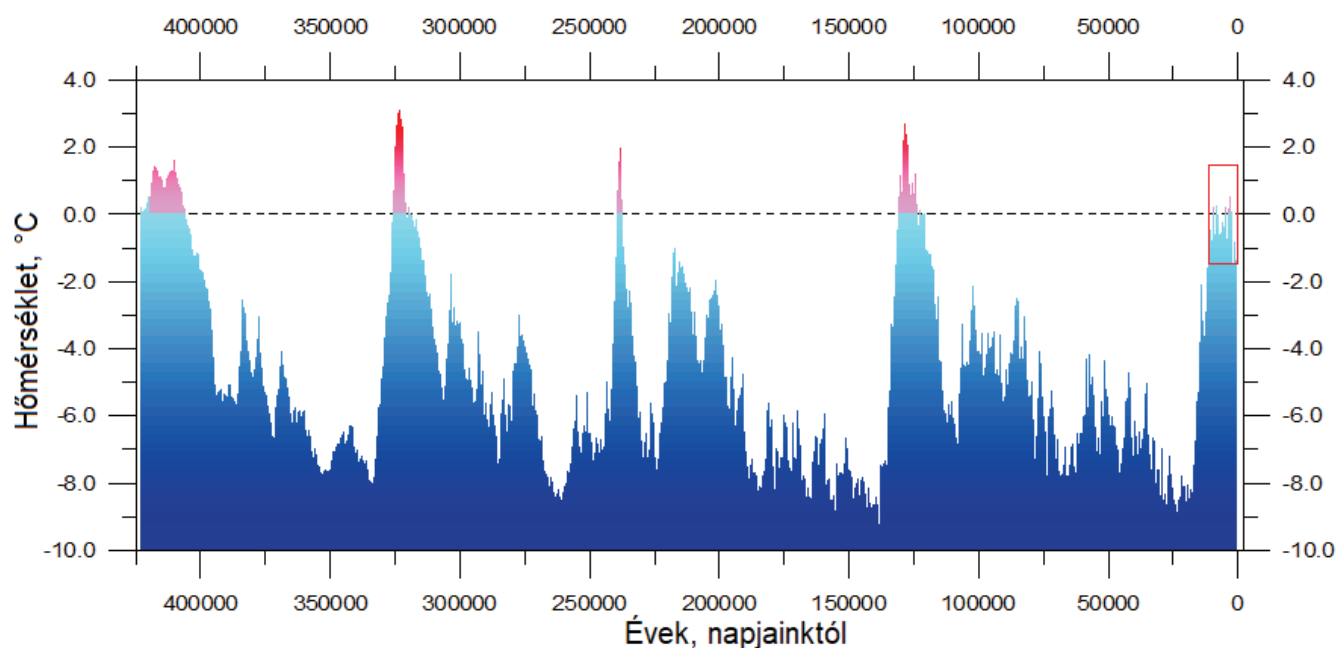
A legutóbbi glaciális minimum átlaghőmérséklet 4,5 °C-kal volt kisebb, míg a legnagyobb holocén átlaghőmérséklet 2 °C-kal volt nagyobb a jelenleginél. A természetes tendenciának a lehűlés látszik. Az Antarktiszon kutató Vostok jégfuratai alapján az elmúlt 420 000 évre a négy glaciálisra és az öt interglaciálisra, továbbá a jelen időszakra megállapított hőmérsékletváltozás közel 100 000 – 110 000 éves ciklusokat mutat, hosszú glaciálisokat és rövid interglaciálisokat. A négy interglaciálisban a jelenleginél 1–3 °C-kal melegebb volt. A jelenlegi interglaciális kb. 11 600 éve tart. A szén-dioxidkoncentráció 290 ppmv-nél nem volt magasabb, míg jelenleg ez az érték 400 ppmv. A jelenlegi interglaciális 2 °C-kal hidegebb a megelőző interglaciálisnál (2. ábra). 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 metastabil állapotát jelentik.

Ezt a hatást a néhány tized fokos, hosszabb távú, átlagos hőmérséklet-emelkedés helyett, a rövid idejű, (például éven belüli) rövid ciklusú, a globálisnál lényegesen nagyobb mértékű (több tizedfok is lehet) hőmérséklet-emelkedések érzékeltetik jobban (3. ábra).

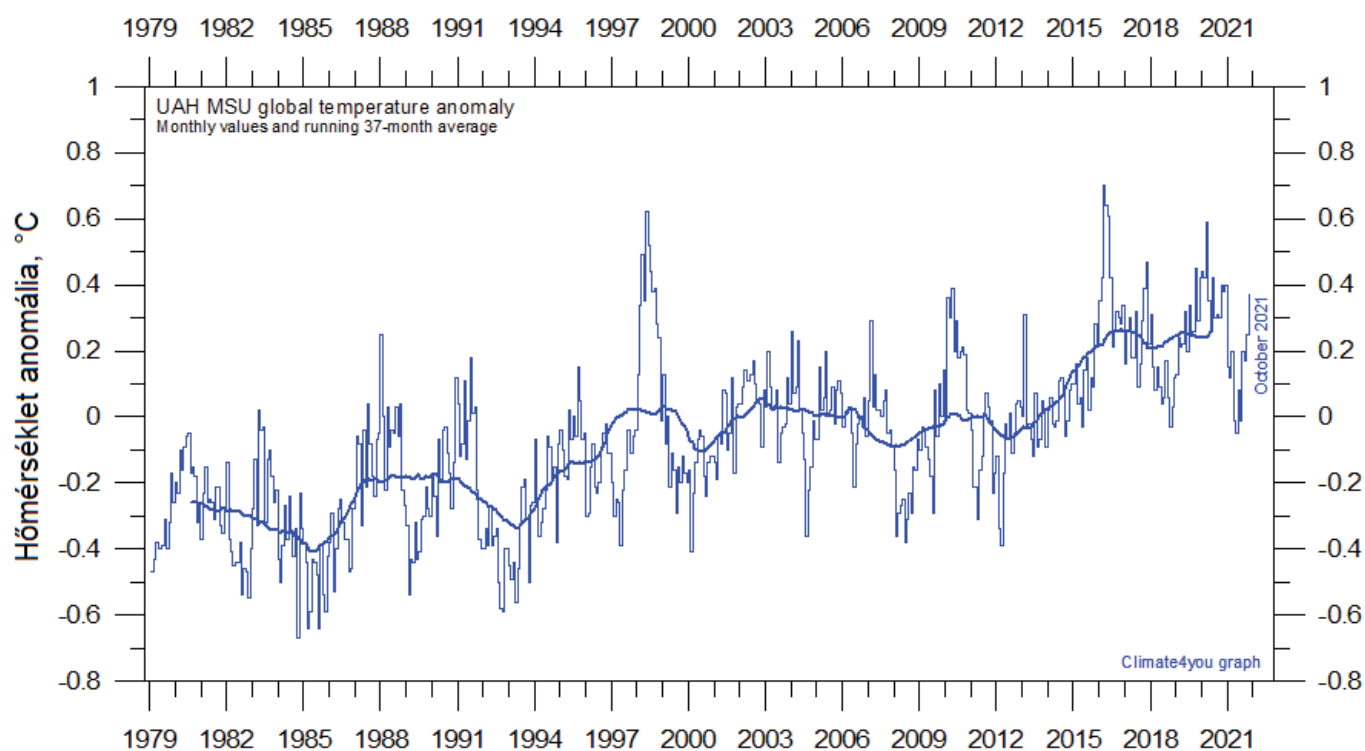
Az évenkénti jelentős hőmérséklet-ingadozások éppen a rendszer sajátosságára mutatnak, mivel a főbűnös szén-dioxid koncentráció változása minimális. Az évenkénti jelentős hőmérsékletváltozás okaként a szén-dioxidot kivehetjük a kényszerek közül, így marad a teljes rendszernek az önmozgása. Jelenleg az 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, de a különböző paraméterekben a késleltetések, fáziseltolódások megismerése közelebb vinne a jelenségek megmagyarázásához. Az elmúlt majd félmillió év néhány, több



1. ábra. A VOSTOK kutatóállomás jégfuratai alapján megállapított hőmérséklet (a) és szén-dioxid (b) idő szerinti változását 420 000 évre szemléltető diagram [13]



2. ábra. Az Antarktison működő Vostok kutatóállomás jégfuratai alapján az elmúlt 420 000 évre rekonstruált globális hőmérsékletváltozás [14]



3. ábra. A globális havi átlaghőmérséklet az alsó troposzférában az elmúlt 40 évre [15]

ezeréves időszakában a szén-dioxid koncentráció változása és a globális hőmérsékletváltozás trendje ellentétes.

Jelenleg elérkeztünk interglaciális korszakunk esetleg közeli végéhez, és valószínűsíthetően párezer éven belül megérkezik a következő jégkorszak. Nem fogadható el az, hogy az évmilliók, évezredek alatt kialakult ciklikusságok a hatásunkra megváltoznak. A klímaváltozási diagramokban a jelenlegi időszakunk egy vonalvas-

tagságba befér, a földi rendszer megy a maga útján, és mi abban csak egy epizód vagyunk. A „nagy” klímában egy pár évtized csak „időjárás”. A modellezés során sok érdekes dolog felszínre került, amellyel érdemes foglalkozni. Helyesebb lenne talán az előkerült sok új ismeretet az alkalmazkodás kidolgozásához felhasználni, mint felborítani a társadalom természetes fejlődését. A kitűzött célok sorra elbuknak, mert irreálisak, és nem mérik fel a hatásokat.

A már több mint kéttucat „klímacsúcson” tett vállalások, vagy elmaradt vállalások kudarcot jelentenek. A párizsi egyezményben vállalt évi 100 milliárd USA dollár támogatási alapból sem lett semmi. Meztelen a király. Mindenki vállalja a célokat, a költségréseket, amely vállalások a legközelebbi „csúcsig” élnek. Először a fizikai cél felülvizsgálata lenne a legfontosabb, indokolt-e a szén-dioxid hatásának ilyen mértékű túlértékelése, és ezt követhetné az újratervezés. Azt mindenképpen el kell kerülni, hogy a szén-dioxidot a szennyezőanyagok közé sorolják, mert az élet alapeleme. Bizonyíthatóan a szén-dioxid koncentráció növekedése zöldebbé tette a Földet, és terménynövekedést eredményezett.

## Összefoglalás

A Föld klímáját számtalan paraméter és kölcsönhatás befolyásolja, de végső soron a klímát elemzők mindig a globális hőmérséklet változásánál és a szén-dioxid szerepénél kötnek ki. Lényegesen felértékelik a szén-dioxid szerepe, az energetikában világméretű változásokat kiváltva, hihetetlen gazdasági terhet rakva az emberiség vállára. A klímamodellek elképzelhetetlen burjánzása mellett gyakorlatilag elég nagy bizonytalansággal, de igyekeznek egy sávon, az 1,5 – 2 oC közötti intervallumon belül tartani a megengedhető hőmérsékletnövekedést a klímakatasztrófa elkerüléséhez. Az AOGCM klímamodellek használatának legnagyobb korlátja jelenleg a grandiózus számítógép-kapacitás igény. E modellek, a mind több beépített éghajlati folyamat és modul révén az éghajlati rendszer dinamikájának egyre pontosabb reprezentációját próbálják megadni.

Az éghajlatváltozásoknál nagyon fontos a belső légkör-óceán-krioszféra-föld visszacsatolási mechanizmusok hatása. A pozitív visszacsatolás felerősíti a rendszerre ható külső paraméterek befolyását, és ha az kellően erős, instabilitást eredményezhet, spontán átmenetet az egyik éghajlati állapotból a másikba. A légkört elismerten kaotikus rendszerként definiálják. Hosszabb távon az állapotát sztochasztikus paraméterek alkalmazásával kísérelik megjósolni.

A sztochasztikus kényszer bevezetésének hatása vizsgálható egyszerű statisztikai dinamikus modellel. A sztochasztikus modell a szokásos statisztikai dinamikus éghajlati modellekkel ellentétben nem az átlagolt időjárás ingadozások belső, véletlenszerű kényszeret használja. Az éghajlati változók nem determinisztikusak, hanem sztochasztikus változók, amelyek szórás spektrumaikkal jellemezhetők. Lorenz kijelentette, hogy az időjárás és a légkör viselkedése kaotikus, ami azt jelenti, hogy viselkedésük hosszú távú előrejelzése lehetetlen, ez a rendszer alaptulajdonsága. K. Hasselmann a klímaváltozás sztochasztikus modelljében a lassú változások mellett beintegrálja a random viselkedésű rövid periódusú „időjárás” diszturbanciákat. Az óceán-légkör-krioszféra-szárazföldi rendszert gyorsan változó „időjárás” rendszerre (lényegében a légkörre), és lassú „éghajlati” rendszerre (óceán, krioszféra, szárazföldi növényzet stb.) osztja. A Föld korábbi jellemző hőmérsékleteinek megállapítására a rendelkezésre álló kutatási technikák közül leginkább jégfuratokból kapott értékek használatosak. A hőmérsékletváltozás hajtóerejeként leggyakrabban a szén-dioxid koncentráció változását jelölik meg. A Vostok mérésekben olyan több-ezer éves szakaszok is találhatóak, ahol a két paraméter változásának jellege ellentétes. A néhány tized fokos hosszabb távú átlagos hőmérséklet-emelkedés helyett, a rövid idejű, (például éven belüli) rövid ciklusú, a globálisnál lényegesen nagyobb mértékű (több tizedfok is lehet) hőmérséklet emelkedések jobban érzékeltek.

## Irodalomjegyzék

- [1] D. T. Mihailović, G. Mimić, and I. Arsenić; Climate Predictions: The Chaos and Complexity in Climate Models, *Advances in Meteorology*, ID878249, Apr 2014, <https://doi.org/10.1155/2014/878249>
- [2] Robert McSweeney; The history of climate modelling - How do climate models work? Jan 2018, <https://www.carbonbrief.org>
- [3] Syukuro Manabe and Kirk Bryan; Climate Calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, v26 (4), pp786-789, Jul 1969, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1969\)026<0786:CCWACO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1969)026<0786:CCWACO>2.0.CO;2)
- [4] Syukuro Manabe and Richard T. Wetherald; The effects of doubling the CO2 concentration on the climate of a General Circulation Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, v32(1), pp3-15, Jan 1975 [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1975\)032<0003:TEODTC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1975)032<0003:TEODTC>2.0.CO;2)
- [5] Syukuro Manabe and Ronald J. Stouffer; Sensitivity of a Global Climate Model to an Increase of CO2 Concentration in the Atmosphere, *Journal of Geophysical Research Oceans*, v85, (10), pp5529-5554, Oct 1980 <https://doi.org/10.1029/JC085iC10p05529>
- [6] IPCC Climate Change 2001, the Third Assessment Report (TAR), WG1, Working Group I: The Scientific Basis, Executive Summary. 771. 14.1 772. 14.2.2 Predictability in a Chaotic System. 773, <https://archive.ipcc.ch/tar/wg1>
- [7] Edward N. Lorenz; Deterministic Nonperiodic Flow, *Journal of the Atmospheric Sciences*, v20 (2) pp130-141, Jan 1963 [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1963\)020<0130:DNF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1963)020<0130:DNF>2.0.CO;2)
- [8] Tél Tamás; A káosz természetrajza, *Természet Világa*, pp 386-388, Szept 1998, [http://theophys.elte.hu/tel/magyar/pdf\\_pub/K%C3%A1osz%20term%C3%A9szetrajza.pdf](http://theophys.elte.hu/tel/magyar/pdf_pub/K%C3%A1osz%20term%C3%A9szetrajza.pdf)
- [9] Berner, Achatz, Batte, Bengtsson at al.; Stochastic parameterization: Toward a new view of weather and climate models, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v98(3), pp565-588, Mar 2017 <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00268.1>
- [10] X, Zeng, R. Pielke, R. Eykholt; Chaos theory and its applications to the atmosphere, *Bulletin of the American Meteorological Society*, v74(4) pp631-644, Apr 1993 [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1993\)074<0631:CTAIAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1993)074<0631:CTAIAT>2.0.CO;2)
- [11] K. Hasselmann; Stochastic climate models Part I. Theory, *Tellus*, v28(6), pp473-485, <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1976.tb00696.x>
- [12] Bartholy Judit, Pongrácz Rita (szerk); Klímaváltozás, ELTE, 2013. <https://ttk.elte.hu/dstore/document/874/book.pdf>
- [13] R. Petit at al.; Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core Antarctica, *Nature* 399, pp429-436, Jun 1999, <https://doi.org/10.1038/20859>
- [14] <https://www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm> (Based on Petit at al. *Nature*, 1999)
- [15] <https://www.climate4you.com/GlobalTemperatures.htm> (According to University of Alabama at Huntsville (UAH), USA)



# A megújuló energiahordozók és a légkörvédelem

Szilágyi Zsombor

mérnök, drszilagyzsombor@freemail.hu

2021. novemberben tartották a világ 200 országa részvételével Glasgowban az ENSZ Klímaváltozási Konferenciát. A konferencia megfogalmazott egy nyilatkozatot, amit minden energetikai szakember figyelmébe kívánnak ajánlani. A felhívás határozott állásfoglalás a fosszilis energiahordozók visszaszorítására és a megújulókat használatának gyorsabb kiterjesztése mellett. A konferencia prognózist is megfogalmazott, a 2050-ig várható energetikai kilátásokról, ez a cikk ezt az előjelzést értékeli.

\*

In November 2021, the UN Climate Change Conference was held in Glasgow with 200 countries from around the world. The conference has drafted a statement that is intended to be recommended to all energy professionals. The call is a strong stance to curb fossil fuels and to expand the use of renewables more quickly. The conference also set out a projection of the energy outlook expected by 2050, and this article assesses this forecast.

\*\*\*

A fosszilis tüzelőanyagok használatának visszaszorulását és a megújulókat előretörését jóskolták a világon a BP kutatói (rapid változat szcenárió) [3], a megállapításait az 1. táblázat mutatja. A prognózis alapja az, hogy a klímavédelemért sürgősen tenni kell, mert a légkör átlagos szén-dioxid tartalmának növekedése súlyos következményekkel járhat. Kutatók azt vélik, ha a szén-dioxid átlagos koncentrációját 420 ppm alatt sikerül tartani, akkor elérhető, hogy a Föld átlagos hőmérséklete ne emelkedjen 2 °C-nál nagyobb mértékben (1900 évhez képest). Ez a 2 °C is nagyon sok. A világ és az EU elmúlt évekbeli szén-dioxid kibocsátást a 2. táblázat mutatja.

1. táblázat. Az egyes energiahordozók jövője a világon (EJ) [3]

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Kőolaj	184	173	153	129	108	89
Földgáz	155	165	166	158	145	142
Szén	133	109	78	50	35	24
Nukleáris	19	26	33	37	41	42
Szél	28	41	62	87	107	121
Nap	17	30	50	76	97	110
Egyéb megújuló	65	99	147	204	249	277

2. táblázat. A szén-dioxid kibocsátás (millió tonna) [2]

	2010	2015	2019	2020
Világ összesen	31 291	33 206	34 356	32 284
Európai Unió	3386	3045	2936	2550

## Energiafelhasználás és a COVID járvány

A 2020. évi kibocsátás csökkenés a koronavírus járvány következménye: az ipari termelés, a közlekedés visszaesett, a home-office rendszer nem növelte a háztartások energia felhasználását jelentősebben. A világ primer energia felhasználása a 2019.-évi 581 EJ szintről 556 EJ-ra csökkent. Nem meghatározó szerepe volt ebben a légköri átlag hőmérséklet emelkedésnek is.

## Klímavédelmi célok és teljesítések

A 2016. évi Párizsi Klímavédelmi Megállapodás azt a célt tűzte ki, hogy századunk második felében meg kell szüntetni az emberi tevékenységből származó üvegházhatású gázok kibocsátását. Pontosabban azt a karbonsemlegességi célt tűzte ki, hogy a többlet széndioxid kibocsátást ellensúlyozzuk például újabb erdők telepítésével. A légkör átlag hőmérséklete ne nőjön +1,5 °C-nál nagyobb mértékben az 1900. évi szinthez képest.

2017-ben az USA visszalépett a Párizsi Egyezménytől. Biden amerikai elnök 2021-ben bejelentette, hogy visszatérnek a párizsi megállapodáshoz.

A glasgow-i ENSZ konferencia ennek a párizsi egyezménynek a teljesítését vizsgálta, az idő közben bekövetkezett változások miatt [1]. A glasgow-i egyezmény főbb tételei:

- a globális felmelegedés 2050-ig legfeljebb 2,4 °C legyen, de cél a +1,5 fok 2100-ra;
- 2050-ig érnük el a „karbonsemlegességet”, vagyis a többlet ÜHG kibocsátást kössük meg (például új erdő telepítéssel);
- a széntüzelést fokozatosan vezessük ki, a fosszilis tüzelőanyag használat állami támogatása szűnjön meg;
- a metán kibocsátást is kezdjük kezelni, első fázisban az emberi tevékenységből származó kibocsátást csökkentjük;
- a szén-dioxid kvóta szabályozás Európában eredményes volt eddig, kiterjesztése a világ más térségeiben is hasznos lenne;
- országonként készüljön terv a klímavédelmi feladatokról;
- pénzügyi forrásokat is kell biztosítani a célok eléréséhez.

Ez utóbbi célnál a világ fejlett országainak erőteljesebben kell támogatni a fejletlenebb gazdasággal rendelkező országokat. Még 2009-ben a koppenhágai csúcstalálkozón a fejlett országok ígéretet tettek arra, hogy 2020-ig a fejlődő országok részére 100 milliárd USD/év támogatást adnak a klímavédelmi programjukhoz. Ez a vállalás csak részben valósult meg [1].

Glasgow-ban több fejlődő ország is hangsúlyozta, hogy akkor tudnak hatékonyan részt venni a globális klímavédelemben, ha az eddigi támogatások többszörösét kaphatják.

A glasgow-i konferencia végkövetkeztetése: a konkrétumok hiányában jelenleg felmérhetetlen, hogy mikorra és milyen mértékben járulhatnak hozzá a glasgow-i döntések a Párizsi Megállapodás konkrét célkitűzéseinek teljesítéséhez [1].

Néhány megjegyzés:

- Figyelemre méltó az EU törekvése a Földünk klímájának védelmére, eddig is szinte csak ezen a kontinensen értek el mérhető eredményt a légkör szennyezés csökkentésében.
- Az EU országok a világ meghatározó részét képezik, de az EU szerepe a világ energia felhasználásában azért nem jelentős, 10% körül van.
- Az EU országok adják a világ fejlettebb részét. Az EU erőfeszítéseit annak tükrében lehet értékelni, hogy Európa népessége alig növekszik, erőteljes bevándorlási nyomás alatt áll, az EU államokban a gazdasági növekedés évi 5% körül van.
- Az EU országok fosszilis tüzelőanyag készletek szempontjából egyáltalán nem tekinthetők gazdagnak. A szén-, kőolaj és földgáz iparágak a nemzeti gazdaságok nem jelentős részét képezik, lobbijuk sem tekinthető jelentősnek. Talán csak a német szénbányászat az a kivétel, amely kellő erőt képvisel a német nukleáris ipar megszüntetéséhez.

- Az EU országokban rohamtempóban fejlődik a megújuló energiahordozók használatához szükséges eszközök fejlesztése és gyártása és használata, ezeknek az iparágaknak egyre határozottabb beleszólása van az európai környezetvédelmi programok elhatározásába.
- Alapos becslések szerint 2040-ig a Föld lakossága 1,2 milliárd fővel nőhet: ezek az emberek is élelmiszert fogyasztanak, főzni, fűteni, vizet melegíteni akarnak, közlekednek, dolgozni fognak, vagyis életükhöz ugyanúgy energia szükséges, mint nekünk.
- A gyorsan fejlődő országokban (Kína, India, Brazília, Dél Afrika) a gazdaság rohamosan növekvő energia igénye szinte teljes egészében csak a hagyományos energiahordozókkal elégíthető ki.
- A nukleáris energiahordozó használat leépítésére csak néhány ország indított programot, a világ legtöbb térségében megmaradnak az atomerőművek és újak is épülnek.
- A palaolaj, palagáz sikerek kezdenek áttérjedni az Egyesült Államokból a világ más térségeire is, a szénhidrogének termelése munkaerőt, gyártási kapacitásokat köt le, nemzeti jövedelmet hoz.
- Az energiahordozók 2021. második félévi árrobbanása remélhetően nem tart tovább, mint 2022. nyara, és ismét nagyobb figyelmet kaphatnak a légkörvédelmi programok.
- Oroszország, mint a világ egyik jelentős állama nem nagyon szólalt meg a klímavédelem ügyében, mivel számára a kőolaj és a földgáz exportja kiemelt fontosságú. Az Északi Áramlat új ágának építése vagy az LNG szélesebb körű kereskedelme is rendkívül fontos az orosz energetikai export szempontjából.
- A fosszilis energiahordozó készletek inkább nőnek, mint csökkennek, köszönhetően az új geológiai, geofizikai kutatási módszereknek.
- A világ minden térségében nő a gépkocsik száma, szoros összefüggésben a népesség növekedésével és az életszínvonal emelkedésével. Az elektromos autó még túl drága ahhoz, hogy ellensúlyozza a gyorsan növekvő benzin és dízel olaj igényeket.
- A biodízel és a bioetanol motor hajtóanyag még lényegesen drágább, mint a kőolajból nyert megfelelői.
- A repülés hajtóanyaga is kőolaj termék. Nem látszik még az a jövő, hogy a repülőket megújuló energiahordozóval hajtsák.
- A megújuló energiahordozók nagyobb arányú használatának nagy ára van. Gondoljunk csak a napenergia, a szélenergia, vagy a vízenergia kinyerésének beruházásaira, és hosszú megtérülési idejükre. Talán a biomassza energetikai hasznosítása oldható meg kisebb beruházásokkal. A hosszú megtérülési idő esetén a beruházás finanszírozása csak állami támogatással lehetséges. Ehhez az adott ország gazdasági helyzete mellett az ország fejlesztési programjai prioritásait is figyelembe kell venni.

## A biomassza hasznosítás

A biogáz Magyarországon való hasznosítás jövőjét adta meg a REKK tanulmányában [4], ennek adatait a 3. táblázat mutatja.

3. táblázat. A biogáz hasznosítás 2030-ig Magyarországon (MW)

	2020	2030	Termelés egység költsége (EUR/MWh)
Depóniagáz	13,4	23,4	53-65
Szennyvízgáz	24,7	30	62-101
Mezőgazdasági	85,9	185,5	89-108

Következtetések:

- A megújuló energia hasznosítási technológiák hatásfoka még lényegesen elmarad a fosszilis tüzelőanyagok hasznosításától;
- A megújuló energiahordozók használatával rövid időn belül több száz megawatt villamos áram termelő kapacitást létrehozni nem lehet.

Említhetjük Németország példáját is, ahol északon a szélerőművek, délen a napelemek erőltetett telepítése miatt sürgősen villamos távvezetéseket kellett építeni, mert máshol termelik az áramot, és máshol használják fel.

Magyarország adottságai miatt a biomassza energetikai hasznosítására sokkal nagyobb figyelmet érdemelne, a következők miatt:

- A keletkező biomasszából mindenképp ki kell elégíteni a földek termőképessége fenntartásához szükséges szerves anyag igényt;
- A környezetünkben keletkező, energetikailag hasznosítható biomassza kis hányadát hasznosítjuk, ezen a téren kell előre lépni;
- A sokféle biomassza közül kiemelhető a szennyvíz tisztításnál keletkező jelentős metán tartalmú biogáz, aminek hasznosításában Európában lényeges előrelépés volt az elmúlt években. Szerény eredményeket értünk el lakossági és kommunális hulladék lerakók biogázának gyűjtésében és hasznosításában;
- Ha a természetben keletkező biomasszát nem hasznosítjuk, akkor a természetes lebomlása éppúgy szén-dioxiddal (és metánnal) szennyezi a környezetet, mintha eltüzelnénk. Emiatt a biomassza tüzeléssel keletkező szén-dioxid nem számít a légkör CO<sub>2</sub> terhelése szempontjából.

Ne felejtjük a biomassza hasznosítás árnyoldalát:

- A biomassza hasznosítás legjelentősebb része ma még a háztartási fatüzelés, ami ellenőrizetlen légkör szennyezéssel jár, különösen a porszennyezés;
- A biomassza begyűjtése, hasznosító műbe szállítása, kezelése (szárítása, aprítása, tárolása, mozgatása) energiát igényel, amit rendre szénhidrogénekkel állítanak elő;
- A biomassza tüzeléssel járó légkör szennyezés nemcsak szén-dioxidból áll, hanem egyéb szerves anyagok és szálló por is kerül a levegőbe. Ez alól csak az ellenőrzött, ipari léptékű biomassza tüzelés a kivétel.

## Mit várhatunk a jövőben?

Az 1. táblázat szerinti energia jövőnek a fosszilis energiahordozókra vonatkozó része látványos és irreális egyszerre:

- a kőolaj és a földgáz lesz a meghatározó energiahordozó a következő húsz-huszonöt évben is;
- a fosszilis energiahordozó felhasználás csökkenését csak 2025 után várják;
- szó sincs a nukleáris energiahordozó eltűnéséről;
- vitathatatlan, hogy a megújulók térnyerése imponáns, de a prognózisok szerint, még 2050-ben is csak 63%-át adják a teljes energia igénynek.

A megújulók fokozottabb, koordinált használata a környezetvédelem egyik nagyon fontos eleme. Hasonló jelentősége van az abszolút energia megtakarításnak, az energia felhasználás hatékonysága emelésének, ami legalább azonos mértékű szén-dioxid kibocsátás csökkenést eredményezhet. Az EU élenjáró törekvéseit ezeknek a céloknak az elérésében mindenképp támogatni kell.

[1] [https://mta.hu/tudomany\\_hirek/111757](https://mta.hu/tudomany_hirek/111757)

[2] BP Statistical Review of World Energy 2021 | 70th edition

[3] BP Energy Outlook 2021. márc.

[4] REKK: A 2030-as megújulóenergia-arány elérésének költségbecslése (2019. feb. 27.)

# A szén-dioxid kibocsájtás megszüntetésének lehetőségei, hatások, költségek

Wiegand Győző

ETE elnökhelyettes, titkarsag@ete-net.hu

A CO<sub>2</sub> kibocsájtás megszüntetése – amit az EU 2050-re tervez végrehajtani – a meglévő energetikai technológiák teljes lecserélését igényli. Óriási aktivitás tapasztalható az új technológiák fejlesztésében, azonban szinte alig foglalkozik valaki a javasolt technikák hatásokkal és várható költségeivel. Az alábbi tanulmány ezeket a problémákat értékeli. Sajnos következtetése súlyos nehézségeket jeleznek.

\*

The elimination of CO<sub>2</sub> emissions, which the EU plans to implement by 2050, requires a complete replacement of existing energy technologies. There is a huge amount of activity in the development of new technologies, but hardly anyone cares about the efficiency and expected costs of the proposed techniques. The following study assesses these problems. Unfortunately, its conclusions indicate serious difficulties.

\*\*\*

*Mottó: Ha valamit nem akarunk tudomásul venni, attól az még behatárolhatja a lehetőségeinket.*

## Célok a karbonsemleges Európa megvalósításáért

Igyekeztem figyelemmel kísérni a „globális felmelegedés” megállításaért folyó világméretű „küzdelem” eseményeit. (A közelmúltban a Glasgowban tartott konferencián elhangzottak és a „vállalt intézkedések” ezt különösen aktuálissá teszik.)

Az alapcél a CO<sub>2</sub> kibocsájtás megszüntetése, a karbonsemlegesség elérése lenne. Ezt az EU 2050-re felvállalta. Más országok „vállalásai” sokkal lazábbak.

A karbonsemlegesség tulajdonképpen az EU-ban négy „célszisztéma” elérését igényli.

- I. A villamosenergia-termelés átállítása kizárólag „megújuló energiákra”. (Lényegében nap és szélenergia, miután az atomenergetikát nem kívánják érdemben fejleszteni, sőt a meglévő atomerőművek nagyrészt leállítását tervezik, a vízenergia létesítés lehetőségei pedig már nem jelentősek.)
- II. A helysűtést átállítani döntően – villamos energiával működtetett – hőszivattyús technológiákra. A földgázfelhasználás teljes megszüntetése. (A biomassza maradhatna, de mennyisége szigorúan korlátozott.)
- III. A közlekedésből a kőolaj termékek (benzin, gázolaj, kerozin) teljes kiiktatása, helyette vagy akkumulátorok használata vagy villamos energia igénybevételével termelt hidrogén alkalmazása.
- IV. A vegyipari és építőipari, valamint kohászati technológiákból a földgáz (esetleg olaj) és a szén teljes kiiktatása hidrogénnel vagy más szintetikus gázzal, például metánnal való helyettesítése.

## A karbonsemlegesség elérésének feladatai

Mindezek végrehajtása óriási energiatárolási, konkrétan villamos energia tárolási feladatok megoldását, valamint a hidrogén technológia alkalmazása esetén kolosszális mennyiségű energia átalakítási és hidrogén tárolási feladat megvalósítását igényli. A szükséges energiaátalakítási és energiatárolási feladatoknak a technikai megoldásai lehetségesek. Ezeket a technológiai megoldásokat bemutató – nagyrészt laboratóriumi vagy demonstrációs célú eredményeket – ismertető és értékelő irodalom többszáz oldalnyi terjedelmű. Mindez a szinte áttekinthetetlenül hatalmas ismeret-halmaz azonban alig tartalmaz valamit ezeknek a technológiáknak a hatékonyságáról és a várható költségeiről. (A költségek jelentős részben az elérhető hatékonyságok függvényei is.)

## Feladatok és következmények a villamosenergia-termelésben

A kizárólag megújuló energiák igénybevételével folytatott villamosenergia-termelés hatások problémái döntően nem a napelemek és a szélenergia hatásokkal függenek össze<sup>1</sup>, hanem a villamosenergia-tárolás hatásokkal. Mind a napelemekkel, mind a szélenergia-termelés – ha a fosszilis tüzelésű és az atomerőművi villamos energia termelést megkínáljuk szüntetni – a villamosenergia-tárolás igénye óriási, erre háromféle megoldás vehető figyelembe.

1. Szivattyús tározós vízenergia létesítése. Ez esetben a kedvező szélviszonyok és besugárzási viszonyok időszakában termelt „többlet” villamos energiát arra használjuk, hogy vizet szivattyúzzunk egy magaslaton lévő víztárolóba, ahonnan aztán az energiahányos időszakban – sötétben és szélcsendben – leeresztve a vizet, vízturbinával villamos energiát termelhetünk.

Ennek a technológiának az eredő hatása jó. A víz felszivattyúzásához felhasznált villamos energiának több, mint 75 százalékát a vízturbinákkal hajtott generátorokból visszanyerhetjük. Az eredő hatások öt egymást követő folyamat hatásokának a szorzata. Veszteségek keletkeznek a vízpumpákat meghajtó villanymotoroknál és a vízpumpák-

<sup>1</sup> A szélenergia és a napelemek hatások nehezen definiálhatóak. A szélenergia értékének az aránya az egység teljesítmény-növelésével javítható. Ez indokolja az egyre nagyobb szélenergia egységek létesítését. A napelemek „hatások” úgy értelmezhető, hogy a napelem panelt ért napsugárzás energiájának mekkora hányadát tudják villamos energiává alakítani. A napelem telep ára közelítőleg a lefedett területtel arányos. Ha sikerül ezt a „hatásokat” javítani, úgy javul a gazdaságosság. Így messze nem igaz az az időnként elhangzó „butaság” miszerint „a nap ingyen süt és a szél is ingyen fúj, így nincs nagy jelentősége a hatásoknak”.



nál, megjelennek a fel és leáramlást biztosító csővezetékek áramlási veszteségei, végül a vízturbináknál és a turbinák által meghajtott generátoroknál is veszteségek vannak. Itt villamos energia kinetikus, illetve helyzeti energiává alakításáról és visszaalakításáról van szó. A technika kiforrott, csak minimális tökéletesítése lehetséges.

A szivattyús tározós erőművek alkalmazásának két korlátja van. A tárolt energia mennyisége relatíve nem lehet nagy – a magaslati víztárolók méretei behatároltak. Így például arra jók, hogy a naperőművek nappali termelési maximumának és éjszakai leállásának kiegyenlítését biztosítsák. Az esetleges több hetes szeles és szélmentes időszak fogyasztás kiegyenlítése már kezelhetetlenül óriási víztárolókat igényelne. A nyári és téli termelés és fogyasztás kiegyenlítésére pedig teljesen alkalmatlanok. (Nehézséget jelent az is, hogy létesítésük ellen lényegében ugyanazok a környezetvédők tiltakoznak, akik egyébként a CO<sub>2</sub> kibocsátás megszüntetését követelik.)

2. A hosszútávú – például a téli és nyári – termelési és fogyasztási mérleg kiegyenlítésére alkalmasnak tűnő technológia a vízbontás segítségével villamos energiával termelt hidrogén előállítás, annak tárolása majd belőle a fogyasztói igényeknek megfelelően történő villamos energia termelése lehetne. Ennek a technológiának azonban nagyon alacsony – maximum 40 százalék – az összesített hatásfoka. (Tehát a kedvező időszakban – például nyáron napsütésben és/vagy megfelelő szélviszonyok mellett – termelt villamos energia maximum 40 százalékát lehet végül újra visszanyerni villamos energia formájában, legalább 60 százalék elvész.) A maximum 40 százalékos hatásfok az egymást követő energiaátalakítási folyamatok eredője, amit növelnek még a szállítási és hidrogéntárolási veszteségek is. A legnagyobb veszteség azonban a termodinamika II. főtétele miatti veszteség, ami akkor keletkezik, amikor a hidrogénből akár gázturbinában, akár üzemanyag cellában újra villamos energiát állítunk elő. Ez a veszteség kiküszöbölhetetlen! Így ahhoz, hogy a kedvezőtlen szélviszonyok esetén és sötét vagy csökkent napsugárzási körülmények között is elláthatók legyenek a fogyasztói igények a felhasznált villamos energia legalább 2,5-szeresét kell megtermelni. 2,5-szeres erőművi teljesítményre van szükség, meg kell építeni és üzemeltetni a vízbontókat és tárolni kell a végül maximum 40 százalékos hatásfokkal drága berendezésekben újra villamos energiává alakítható hidrogént. (Ehhez nyilván a fogyasztói igények 2,5-szeresének megfelelő teljesítményt kell beépíteni és azt a 60 százalékot is meg kell termelni, ami elvész.)

A hidrogén technológiát népszerűsítő optimista kicsengésű hírek erről a problémáról nem tájékoztatnak és arról sem hallunk szinte semmit, hogy mindez mibe kerül? Mibe kerül az a technológiai rendszer, amely a naperőművek háromszoros nyári villamos energia termelésének nagyrészt képes hidrogénné konvertálni, azt körülbelül fél évre letárolni, majd a befektetett energia 60 százalékának elvesztését követően télen a fogyasztók rendelkezésére bocsátani? Óriási beruházásokat kell végrehajtani, miközben a megtermelt villamos energia 60 százaléka csak a környezetet melegíti.

3. Az akkumulátoros villamosenergia-tárolás hatásfoka lényegesen jobb, mint a hidrogéntekológiáé. A lítium ion akkumulátorokba betáplált villamos energia kb. 80 százaléka

ugyancsak villamos energia formájában visszanyerhető. (A 20 százalék veszteségbe az egyenirányító és váltóáramú visszaalakító konverterek, valamint a transzformátorok és a hálózat veszteségei is „beleférnek”).

Az akkumulátorokkal a fő probléma a magas árak. (A remélhető ár is legalább 100 USD/kWh.) A szélmentes időszak kiegyenlítéséhez szükséges akkumulátorok ára már az elviselhetetlenség szintjén lenne. A téli-nyári kiegyenlítéshez szükséges akkuk ára pedig például Magyarországon az ország több évi GDP ráfordítását igényelné. További probléma a szükséges nyersanyagok (lítium, kobalt, ritka fémek stb.) biztosítása, valamint az irdatlan mennyiségű elhasznált akkumulátor feldolgozása és újrahasznosítása lenne. Ez az út járhatatlan.

### **Mindebből egyértelműen látható, hogy nagy mennyiségű villamos energia hosszabb időre történő tárolása megoldatlan és a belátható jövőben – például 2050-ig – megoldhatatlan.**

A még legígéretesebbnek tűnő hidrogén technológiai sem járható út, aminek fő oka a következetesen elhallgatott nagyon alacsony hatásfok és részben ennek következtében várható elviselhetetlen költségek.

A helységi fűtés átállítása hőszivattyús rendszerre nem vet jelentős hatásfok problémát. Az e célra felhasznált villamos energia – a hőszivattyús rendszer révén az adott körülmények által meghatározott – „jósági szorzószám-szoros” mennyiségű helységi fűtési energiát szolgáltat. (Ez a bevitt villamos energia 2,5-3,5-szöröse.) Itt az alapp probléma az, hogy a többlet villamosenergia-igény a téli fűtési időszakban jelenik meg, amikor a napelemek teljesítménye a minimális.<sup>2</sup> (Emiatt kellene a naperőművek nyári villamos energia termelésének nagyrészt tárolni és télen felhasználni, ami a megelőzően kifejtettek miatt elviselhető költségek mellett megoldhatatlan.)

### **Feladatok és következmények a közlekedésben**

Bonyolultabb összefüggések vannak a közlekedésben. A már jelentős mértékben – a személygépkocsik 1-2 százaléka – alkalmazott technológia a villamos meghajtás. A szükséges villamos energiát a gépkocsik által szállított akkumulátorok biztosítják. Ez a technika elég jó hatásfokkal hasznosítja a villamos energiát. Az akkutöltésre felhasznált villamos energia kb. 80 százaléka mechanikai energia formájában megjelenik a gépkocsi meghajtó kerekein. Ha a villamos energiát megújuló energiából állítjuk elő vagy esetleg atomerőművekben, úgy szén-dioxid kibocsátás nem történik.<sup>3</sup> (Természetesen megjelennek az óriási mennyiségű akku-

<sup>2</sup> A helységi fűtés teljes átállása a hőszivattyús rendszerekre a villamosenergia igények 60-70 százalékkal történő növekedését eredményezné. Ezt az óriási villamos energia többletet, amely ráadásul a téli időszakban jelenik meg, teljes egészében megújuló energiával, esetleg atomenergiával kellene fedezni. Ez csak a nyáron termelt villamosenergia nagy részének téli történő átvitelével lenne megoldható. Ha a hőszivattyúk villamosenergia-igényét fosszilis energiával működő erőműben állítjuk elő, akkor széntüzelés esetén legalább kétszeres gáztüzelés esetén pedig kb. ugyanannyi CO<sub>2</sub> kibocsátás jelenik meg, mintha a fűtést közvetlen gáztüzeléssel kondenzációs kazánok biztosítanák. A szükséges berendezések ára pedig legalább négyszerese lenne a közvetlen gáztüzelés készülékeinek.

<sup>3</sup> Ha a villanyt széntüzelésű erőműben állítjuk elő, úgy az akkumulátorral működő villanyautó kb. kétszer annyi CO<sub>2</sub> kibocsátást eredményez, mintha benzinnel vagy dízelolajjal működne. Ha a villamosenergia-termelés gáztüzelésű erőműben történik, akkor a CO<sub>2</sub> kibocsátás kb. azonos a benzin vagy dízelolaj hajtásával, miközben a szükséges berendezések ára széntüzelésnél közel háromszorosa, gáztüzelésnél is legalább kétszerese lenne a benzinüzemű vagy dízelmotoros megoldásnak.



mulátor előállításának és kb. tízevenkénti cseréjének, valamint az elhasznált akkuk feldolgozásának problémái és költségei. **A világ akkumulátor gyártását körülbelül ötvenszeresére kellene növelni**, miközben az akkugyárak létesítése miatt is nagyrészt azok a környezetvédők tiltakoznak legelszántabban, akik a CO<sub>2</sub> kibocsátás megszüntetését követelik.)

Ennél is sokkal kedvezőtlenebb a helyzet, ha – esetleg részben a megelőző zárójelben szereplő problémák miatt – a hidrogén technológiát terveznének alkalmazni a gépjárművek energia ellátására.

Ez esetben a megújuló energiával működő – vagy esetleg atomerőművekben fejlesztett – villamos energiával vízbontásos technológiával először hidrogént kell termelni. (Itt már jelentős veszteségek keletkeznek.) A hidrogént el kell juttassuk a töltőállomásokra, illetve átmenetileg tárolnunk kell. (Ez sokba kerül, de a veszteségek remélhetőleg nem túl nagyok.) Végül a gépkocsikat vagy hidrogénnel üzemeltetett belsőégésű motorral vagy hidrogénnel működtetett tüzelőanyag cellákkal termelt villamos energiával hajtjuk meg.

**Mindkét esetben kiküszöbölhetetlenül megjelenik a termodinamika II. főtétele által meghatározott veszteség.** Az összes veszteséget figyelembe véve a felhasznált villamos energia, 30, maximum 35 százaléka jelenhet meg a gépkocsik meghajtó kerekein mechanikus energia formájában. (65-70 százaléka a megtermelt villamos energiának elvész, csak a környezetet fűti.) Rádadásul ezt a nagyon szerény eredményt is rosszul kihasználható, drága berendezésekkel tudjuk elérni és megújuló energiával működő erőművet is kb. háromszor annyit kell építeni, mint amennyi mecha-

kus energia a gépkocsik meghajtó kerekeire eljuttatható.

A hidrogéntechnológia propagálói ezeket a nyilvánvaló problémákat elhallgatják. **A valóságban ezek az alacsony hatáskör miatti problémák a hidrogén technológia alkalmazhatóságát mind a hosszabbtávú villamosenergia-tárolásban, mind a közlekedés CO<sub>2</sub> mentesítésében lényegében értelmetlenné teszik.**

#### **Feladatok és következmények az iparban**

A negyedik „célrendszer” a vegyipari, építőanyagipari és kohászati technológiákból a földgáz és a szén kiváltása a technológiák teljes átalakítását és új, eddig nem alkalmazott megoldásokat igényel. Ahol ez lehetséges a közvetlen villamosenergia felhasználás indokolt. Ez esetben jobb hatásköröket lehet elérni. A hidrogén vagy a szintetikus metán használata esetén azonban itt is megjelennek a termodinamika II. főtétele miatti elkerülhetetlen veszteségek. (Sohol nem lehet másodfajú perpetuum mobilét építeni.)

A leírtakból egyértelműen következik, hogy a hidrogéntechnológia sem a villamosenergia tárolásban, sem a gépkocsi üzemeltetésben nem olyan ígéretes, mint amilyennek sokan vélik. Széleskörű alkalmazását szinte megoldhatatlan problémák akadályozzák.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Ismereteim szerint ma kereken 90 Mt hidrogént termelnek a világon, amit a vegyipar és a kőolaj finomítók használnak fel. Ennek 99 százaléka földgázból előállított, úgynevezett „szürkehidrogén”. (A földgázban lévő szénből természetesen CO<sub>2</sub> kibocsátás lesz.) A hidrogénnel történő villamosenergia tárolás és a teljes gépkocsiállomány hidrogénnel történő működtetése több Mdt/év „zöldhidrogént” igényelne. Ezt a gigantikus „zöldhidrogén” termelést gyakorlatilag a nulláról kellene 30 év alatt felfejleszteni.

### **Alföldy-Boruss Márk**

az energiapolitikáért felelős helyettes államtitkár

Alföldy-Boruss Márk a Szent István Egyetemen közgazdaságtan szakon folytatta egyetemi tanulmányait. A doktori képzésben – helyben ugyanott –, de már a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetemen vett részt. Nemzeti versenyképesség és megújuló energiaforrások című értekezését 2019. február 26-án védte meg.

Szakmai és vezetői tapasztalatait a dekarbonizáció területén (e-mobilitás, megújuló energiaforrások, energiahatékonyság, emiszió kereskedelem) a magán és a közzsférában szerezte.

Kinevezése előtt az Innovációs és Technológiai Minisztériumban az Energiaügyekért és Klímapolitikáért Felelős Államtitkárságon a dekarbonizációs főosztályt vezette. 2021. november 15-től az Innovációs és Technológiai Minisztérium energiapolitikáért felelős helyettes államtitkára.



Alföldy-Boruss Márk több szakmai egyesület aktív tagja és tisztségviselője. 2020. szeptember 9-től a Magyar Szénhidrogén Készletező Szövetség Felügyelő Bizottságának elnöke az innovációs és technológiai miniszter által delegálva.

Helyettes Államtitkár úr kinevezéséhez gratulálunk, felelősségteljes munkájához sok sikert kívánunk!

### **Már mindegyik nagy hazai autógyár megkezdte az elektromos átállást**

„Magyarország többek között a távol-keleti cégek magyarországi tevékenysége révén Európa második legjelentősebb akkumulátorgyártó országává válik. Az élénk ipari tevékenység ösztönzi a kutatás-fejlesztést is” – emelte ki Palkovics László innovációs és technológiai miniszter 2021. november 24-én. A tárcavezető a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) fenntartható fejlődésről szóló online kerekasztalán szólt fel. Az esemény résztvevői az elektromobilitásra való átállás várható hatásait, eddigi tapasztalatait járták körül.

A miniszter helyzetértékelése szerint nem lehet arra számítani, hogy az autógyárak jövője egy egységes, minden helyzetre alkalmazható megoldás mentén alakulna. Ahogy a glasgow-i klímacsúcs rávilágított, több tiszta technológia térnyerése is elképzelhető. Az akkumulátorok felhasználását egyebek mellett az elérhető félvezetők vagy nyersanyagok véges mennyisége korlátozza. Ezért is érdemes feltérképezni a szóba jöhető alternatívákat, ilyenek lehetnek az üzemanyagcellák, a hidrogén vagy a szintetikus üzemanyagok.

Palkovics László kifejtette: A járműgyártás kiemelt szerepet tölt be a magyar gazdaságban, a GDP negyedét teszi ki, minden huszadik foglalkoztatott e szektorban dolgozik. A hazánkban működő nagy autógyárak már kivétel nélkül nekiláttak az elektromos átállásnak. Az ágazati kutatás-fejlesztési kapacitások betelepítéséhez vonzó közeget kínál a világ egyik legkorábbi tesztközpontja, a ZalaZONE járműipari tesztpálya. Folyamatban van az akkumulátorfejlesztés beépítése az egyetemi mérnöki és szakképzési tantervekbe. Érdemi negatív hatások tehát Magyarországon nem tapasztalhatók, a globális trend inkább újabb lehetőségeket teremt hazánk számára.

(Forrás: ITM)

# A környezetvédelem és a megújuló energiahordozók

Szilágyi Zsombor

mérnök, drszilagyzsombor@freemail.hu

A cikk a megújuló energiaforrások helyzetével és jövőbeni szerepével foglalkozik. Az átfogó helyzetkép rövid felvázolását követően elsősorban a biogáz termelés helyzetét és lehetőségeit tekinti át. A cikk egyik fontos megállapítása, hogy a települési hulladék újra hasznosításának és energetikai felhasználásának szintjét növelve, a környezeti hatások számottevően csökkenthetők.

\*

This article deals with the situation and future role of renewable energy sources. After a brief outline of the overall situational picture, it mainly looks at the situation and possibilities of biogas production. One significant finding of the article is that by increasing the level of recycling and use for energy production, the municipal waste, the environmental impacts considerably can be reduced.

\*\*\*

Még 2011-ben jelent meg három egyetem oktatói, kutatói és hallgatói munkájaként az „Erre van előre” című könyv [1], aminek legfőbb megállapítása az, hogy erőteljes energetikai fejlesztési program eredményeként optimális esetben 2040-re az ország teljes energia igénye kielégíthető lenne hazai megújuló energiahordozókkal. A szerzők Nagy Britannia és Dánia példáját használva elemzik a hazai energetikai helyzetet, és ennek következtetése a megújuló ragyogó karrierjének felvázolása. A könyv aktualitása nem csökkent az elmúlt években, bár a vázolt 2040. évi helyzet felé alig tettünk lépéseket.

A könyv szerzői három cselekvési programot tárgyalnak: energiatakarékosság javítása, energia takarékoság, megújuló energiahordozók használatának tudatosabb, környezetbarát használata.

Tulajdonképpen mindhárom cél megjelent azokban a cselekvési tervekben, amelyeket a kormány vagy az országgyűlés különböző (hosszabb) időtávokra elfogadott. Bár egyik kormányzati program sem mondta ki, hogy a fejlesztések végcélja a fosszilis energiahordozó felhasználásának nullára csökkentése, de valamilyen hosszabb távon mégis adódik ilyen lehetőség.

## A megújuló energiaforrások helyzete és jövője

A kormány Nemzeti Energiastratégia 2030 kitekintéssel 2040-ig című programja értékeli valamennyi megújuló energiahordozó helyzetét és jövőbeli használata lehetőségét.

Az áttekintett megújuló energiahordozók helyzete:

- **Napenergia hasznosítás:** jelentős beruházási támogatással elértük, hogy a napenergia hasznosítás kiugró eredményt ért el 2021 őszéig, a napenergia napelemes (PV) hasznosítása, akár a napi maximális hazai villamos energia igény 30 %-át is fedezi. A sikeres fejlesztési program folytatása várható a Nemzeti Energiastratégia szerint, akár 6500 MW szintig is. A napelem állomány gyors növekedése miatt az áramelosztókra egy sor feladat vár [2]:
  - meg kell teremteni az elosztóhálózat aktív üzemeltetéséhez szükséges piaci mechanizmusokat;
  - ki kell alakítani területi sajátosságokat figyelembe vevő feszültségszabályozási és szűk keresztmetszet kezelési flexibilis piacokat;

- fejleszteni kell saját üzemirányítási rendszerüket.
- A háztartási napelem tulajdonosokat ösztönözni kell a villamosenergia önellátásra, ehhez a lakossági energiatárolás minden eszközét széles körben propagálni kell és támogatni.
- Az Európai Unió ajánlja minden tagországnak a napelem termelés illesztési gondjainak csökkentésére „bruttó” rendszerű áram elszámolást.

- **Szélergia hasznosítás:** a 2000-es évekkel elindított szélenergia hasznosítási programban mintegy 380 MW szélgenerátor teljesítmény épült meg. Az erőművek építésére kötött támogatási szerződések tíz év üzemre szóltak, és napjainkban a szélgenerátorok már elérik a várható életkoruk felét. A kormány az újabb ipari léptékű szélgenerátorok telepítését megakadályozta a telepítési feltételek szigorításával.
- **Vízenergia hasznosítás:** az ország földrajzi adottságai miatt a meglévő vízerőműveink számának és teljesítményének növelése nem várható.
- **Geotermikus energia:** a kormány több stratégiai programban is kiemelt jövőt jósolt a geotermikus energia hasznosításnak. A termálvizek hasznosításának programja nagyjából megrekedt a fürdők létesítésénél. A termálvizek magas sótartalma tekinthető a további hasznosítási programok legnagyobb fékjének.
- **Bioüzemanyagok:** az ország teljesítette az EU ajánlását a hagyományos benzin és dízel üzemanyagokban a biohányad bekeverésére. Hazai járműállomány a motorok átállítása nélkül tud fogadni mintegy 8 % bioüzemanyag hányadot. Hazánk a bioüzemanyagok termelésében erős, az exportunk jelentős.
- **Biomassza és hulladék energetikai hasznosítása** terén nem értünk még el jelentős eredményeket azzal együtt, hogy a szilárd biomassza felhasználásunk (benne a fatüzelés) a primer energiafelhasználás több, mint 7 %-t adta 2020-ban. Ennek az energiahordozónak szerepéről, szélesebb körű hasznosítási lehetőségéről a továbbiakban részletesen foglalkozunk.

Bár az energia potenciál számítások különböző években (2003-2009 között) készültek, a becslések széles tartományban szóródnak. Feltehetően a módszertani eltérések is eredményezik a nagy különbségeket. A KvVM adatait kivéve viszont egységes az egyes megújuló nagyságrendjének megítélése. A Nemzeti Energiastratégia 2030. dokumentum az ország megújuló energiahordozó potenciálját kifejezetten jónak értékeli (2. táblázat) [2].

Ehhez az összeghez hozzáadhatjuk a földhő és a levegő hőtartalmának egyértelműen meg nem határozható mennyiségét: legyen a hazai teljes megújuló energia potenciál 3000 PJ, vagyis a 2020. évi 1100 PJ teljes primer energiafelhasználás közel háromszorosa. Van lehetőség tehát az EU 2040. évi megújuló felhasználás célkitűzésének elérésére.

A Nemzeti Energiastratégia 2030. dokumentum a megújuló részesedését a primer energia felhasználásban 2030-ra 20%-ra, a távfűtésben 14%-ra tervezi. A hulladék és szemét energetikai hasznosítását legalább 20%-ra prognosztizálja.

	napenergia	szél	biomassza	víz	geotermális	hulladék	összesen	reális
	PJ/év							
MTA	1851,5	532,8	203,2-328	14,5	63,5		2665-2790	405-540
BME	1749	533	126-223	14	63		2485-2582	994-1291
KvVM	3,6	1,3	165,8	1,2	50	5	226,9	36
Napenergia Társaság	1749	533	233	14	63		2582	
OMSZ	...	323,4	...	...	...	...		204,7

Forrás: „Erre van előre” tanulmány [1]

2. táblázat. A hazai megújuló energiaforrások potenciálja

Megújuló energiaforrás	Potenciál (PJ)
Napenergia	1838
Vízenergia	14,4
Geotermia	63,5
Biomassza	203-328
Szélenergia	532,8
Összesen	2600-2700

### Átalakul ország energia igénye

Az ország primer energiaforrás felhasználása 2020-ban 1094 PJ volt, évek óta változatlan nagyságrendű. Ebben a tudatos energia takarékoság és az emelkedő átlag hőmérséklet is szerepet játszott, bár nagyobb hatása volt a koronavírus járvánnyal kialakult gazdasági válságnak: az energiaigényes iparágak (építőanyag ipar, kohászat) stagnálásának, és az egyre növekvő villamos energia importnak. Óvatos becslések szerint is 2040-re elérheti a primer energia igény a 1200..1250 PJ szintet, intenzív energia hatékonyság javító és takarékosági programok mellett is.

A primer energiaforrások közül a megújuló előretörése figyelhető meg, kiemelten a napenergia hasznosítás emelkedett.

Ha az ország többlet energiaforrás igényét szinte kizárólag megújuló használatával állítják elő, akkor talán a legkisebb költséggel, társadalmi aktivizálással lehet jelentős eredményt elérni. Minden más esetben meglévő energiaforrás felhasználási rendszerrel kell másokra cserélni: energiatermelő, végfelhasználó berendezések cseréje, logisztikai rendszerek fejlesztése vagy cseréje olyan költségeket jelent, amely az átállás finanszírozhatóságát rontja, vagy akár lehetetlenné is teszi. A megújuló energiaforrások részesedése az ország teljes energia ellátásában változatos képet mutat (3.táblázat).

3. táblázat. A megújuló szerepe a hazai energiaellátásban (%-ban) [3]

	2015	2017	2018	2019
A hazai megújuló energiaforrások potenciálja	7,3	7,5	8,3	10
Megújuló a fűtés-hűtésben	21,3	19,9	18,2	18,1
Megújuló a közlekedésben	7,2	7,7	7,7	8
Megújuló a bruttó végső fogyasztásban	14,5	13,5	12,5	12,6

Az EU elfogadta Magyarország 2020. évi energia mérlegében a 14,65 % megújuló arányt, és a további években ezt a szintet kell emelni. Az EU 2020. december 11.-i döntése: Európában 2030-ig 55 %-kal csökkentjük az üvegház hatású gáz kibocsátást.

A környezetünk és a légkör védelmében sok tennivaló akad még. A hulladékok kezelésében elértünk eredményeket már, de a következő évek kiemelt feladata lehetne a települési hulladékok teljes körű környezetbarát kezelésének megoldása, amit alátámaszt a települési elszállított hulladék mennyisége, amit a 4. táblázat mutat. A települési hulladékot 2575 lerakóban helyezik el. A lerakók közül 1240 működik hivatalos engedéllyel. A kommunális hulladék, a szilárd biomassza és a biogáz termelés és hasznosítás adatait az 5. táblázat mutatja.

4. táblázat. Elszállított települési hulladék (ezer tonna) [3]

Hulladék pálya	2013	2018
Anyagában hasznosított	331	742
Energetikai hasznosítás	313	454
Égetés	2	0
Lerakott hulladék	2136	1928
Összesen	2782	3124

Az EU célkitűzése a települési hulladék kezelésére 2035-re:

- 10% kerüljön lerakóba
- 65% legyen újra hasznosítva

5. táblázat. Kommunális hulladék, szilárd biomassza és biogáz termelés/hasznosítás (PJ) [5]

	2019		2020	
	termelés	felhasználás	termelés	felhasználás
komm. hulladék	1,84	3,1	2,45	3
biomassza	85,91	86,6	84,8	85,48
biogáz	3,77	3,77	3,78	3,78

Az ország bruttó villamosenergia termelésében a biomassza, a biogáz és a megújuló kommunális hulladék részesedése nem mutat gyors előrehaladást (6. táblázat) [5].

6. táblázat. Biomassza, biogáz és kommunális hulladék szerepe a villamosenergia-termelésben (GWh)

Forrás	2017	2018	2019	2020
biomassza	1646	1799	1769	1647
biogáz	348	336	318	299
komm. hulladék	160	162	137	159

A lakások száma 2021. január 1-jén 4 501 344 volt, 2020-ban 28 208 új lakás készült el [3]. A 2019. évi üvegház hatású gáz kibocsátás szén-dioxid egyenértékben 57 356 ezer tonna volt, ebből a ház-

tartások kibocsátása 22 651 ezer tonna, az összes kibocsátás közel 40%-a. Az új lakások a mindenkor érvényes hővédelmi követelmények szerint épülnek, amely ma hazánkban is európai szintű, így az új lakások energetikai célú felújítási programból kimaradhatnak.

Az energia hatékonyság növelésében, a takarékoságban továbbra is kiváló lehetőségek vannak a háztartásoknál. Bár a háztartási energia árak befagyasztása (a rezsicsökkentés) egyértelműen a takarékoság ellen hat, a lakosság minden energia költség megtakarítási lehetőséget megragad.

A kormány célként tekinti a háztartási földgáz felhasználás jelentős csökkentését a 2017. évi 124,4 PJ szintről 2030-ra 54 PJ-ra [2].

## A biogáz helyzete az ország energia ellátásában

A biogáz termelésének szokásos módjai:

- mezőgazdasági hulladékok feldolgozására épült üzemekből;
- szennyvíziszap feldolgozással nyert biogáz;
- települési szilárd-hulladék lerakók gázának (depóniagáz) gyűjtése.

A biogáz potenciált mérte fel a PTE Fizikai Intézet 2006-ban [6]:

- állattartó telepeken 5-8 MW
- szennyvíziszap feldolgozóban 10-15 MW
- szerves hulladék kezelésben 10-20 MW

Más források szerint:

Magyarország biogáz potenciálja:

121-177 millió m<sup>3</sup>/év 2H minőségű biometán

A biogáz vertikum adatait a 7-9. táblázatok mutatják.

7. táblázat. A biogáz üzemek számának alakulása (db) [4], [5]

Forrás	2006	2010	2019
Biogáz üzem	4	17	39
Depóniagáz üzem	10	8	21
Szennyvízgáz üzem	12	12	13

Több biogáz üzem nem működött a termelési költségek, felújítás, felszámolás miatt.

8. táblázat. Biogáz termelés (MWh/év) [5]

Forrás	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20
Mezőgazd. biogáz	608 682	587 930	534 369	562 948
Szennyvízgáz	301 623	299 384	279 460	308 646
Depóniagáz	195 528	168 472	138 460	124 250
Hálózatba adott	56 715	57 297	61 368	61 918

9. táblázat. Biogáz részesedés a villamosenergia termelésben (%) [5]

Forrás	2016	2017	2018
Biogáz részesedés %	10,2	10	8,8

## Biogáz üzemek

Elsődleges a környezetvédelmi funkció. A veszélyes hulladékok befogadásáért a biogáz üzemeknek fizetnek a beszállítók. A mezőgazdaság és a kapcsolódó élelmiszeripar hulladék termelése 2018-ban meghaladta a 600 ezer tonnát. A biogáz üzemek évente mintegy 3,2 millió tonna nedves, szerves hulladékot dolgoznak fel.

Az anaerob bomlás eredményeként kb. 50% metán tartalmú gáz keletkezik, amit tisztítás (kéntelenítés) után gázmotorokban hasznosítanak. A hasznosított energia kb. 94 millió m<sup>3</sup> metán egyenértékű. Az érlelés és a gázkinyerés után visszamaradó sűrű,

iszap jellegű anyag már bomló részeket nem tartalmaz, és közvetlenül talajjavításra használható.

A biogáz üzemek létesítési költsége napjainkban 1-2 millió Ft/kW.

Biogáz hasznosítása

- saját technológia fűtése;
- hőtermelés (állattartó telep, üvegház);
- áramtermelés;
- biogáz földgázhálózatba adás.

A földgázhálózatba adás feltételei:

- földgáz minőség beállítása;
- csatlakozási nyomás;
- ingadozó átvétel: tárolás;
- mennyiség és minőség mérés;
- (szagosítás).

## Szennyvíz kezelés

A települési szennyvíz mennyisége évi 600 millió m<sup>3</sup> körül van.

Települési szennyvíziszap: évi 700 ezer tonna, 25-30% szárazanyag tartalommal.

Az országban a szennyvíz tisztító telepek száma:

- 2 ezer feletti lakost kiszolgáló: 602 darab,
- kevesebb, mint 2 ezer lakost kiszolgáló 236 darab

A szennyvíztisztítás technológiája:

Elsőfokú (mechanikai)

cél: durva szennyezés eltávolítása, szűrés (rácsok, sziták), ülepités  
finom lebegő szemcsék eltávolítása, homokfogás, derítés  
olaj- és zsír lefőlézés.

Másodfokú (biológiai)

cél: szerves anyag eltávolítása.

Harmadfokú (fizikai-kémiai)

cél: finomszemcse eltávolítás, foszfor eltávolítása, nitrogén eltávolítás, oldott anyag eltávolítás, baktérium, vírus kiölése.

A kezelt szennyvíziszap hasznosítás:

- szilárdhulladék lerakóba (60 %);
- mezőgazdasági hasznosítás (fele talajba injektálás, fele komposztálásra).

## Depóniagáz hasznosítás

Lakossági és kommunális hulladék gyűjtés, hasznosítás

- már lerakott: 16 millió t;
- szerves széntartalom: 150 g/kg;
- fajlagos költségek: lerakás 18 Euro/t  
égetés 36 Euro/t
- 1 t hulladék ~9 GJ.

Települési szilárdhulladék lerakók

- lezárt, lefedett, tömörített tároló;
- 15...20 évig képes ipari méretű gáztermelésre;
- passzív gázkút: természetes gáznyomás, a gáz általában levegőbe kerül;
- aktív gázkút:
  - vízszintes és függőleges csövek,
  - kompresszoros szívás.

Gáz összetétel függ:

- telep élettartamától;
- lerakott anyag összetételétől;
- tömörítéstől (0,2 t/m<sup>3</sup> > 1 t/m<sup>3</sup>);
- talajvíz beszivárgástól;
- záróréteg anyagától.

16 depóniagáz hasznosító telep működik:

- 13-15 millió m<sup>3</sup> hulladékból;
- 100-120 millió m<sup>3</sup> gáz, 1,8-2 PJ.



A közszolgáltatás keretében gyűjtött települési hulladék 2019-ben összesen 3791 ezer tonnát tett ki. Ebből anyagában hasznosított volt 1358 ezer tonna, energetikai hasznosításra került 515 ezer tonna, és lerakásra került 1919 ezer tonna. Csak becslés készült arról, hogy a háztartásokban eltűzelt lakossági hulladék mennyisége is egymillió tonna nagyságrendű lehetett. Ez utóbbi tétel magában foglal nemcsak fa hulladékot, hanem színes papírt, és műanyag hulladékot is. A KSH 2010. évi adata szerint egy lakosra 403 kg háztartási és kommunális szemét jutott évente. A háztartási szemét szelektív gyűjtése és hasznosítása szépen halad előre az országban, és már a 19%-ot is meghaladja. Az elégetésre kerülő szemét mennyisége ma 10%. A szerves tartalmú szemét megfelelő kazánokban nagyon jól elégethető, a keletkezett hő távhőszolgáltatásban vagy villamos áram termelésben kitűnően hasznosítható. Az ország egyetlen kimondottan erre a célra épült szemétegető műve már évek óta bebizonyította, hogy az ipari léptékű szemét elégetés egyszerre környezetvédelmi és energetikai megoldás, a szemét lerakása helyett. A szemétegető a többször szigorított környezetvédelmi követelményeknek is maradéktalanul megfelel, bizonyítja ezt az is, hogy Budapest belterületén üzemel. Miért nem épülnek további szemétegető művek? Ma egy szabályos szemétkerakó létesítési költsége tizede egy azonos kapacitású szemétegető műének.

A korszerű füstgáz tisztító berendezésekkel ellátott nagy, szilárd tüzelésű villamos erőművekben a szemét elégetés viszonylag könnyen megoldható. Jól bizonyítja ezt a Mátra alján üzemelő nagy erőmű is.

A szemét elégetés eddig nem hasznosított energetikai potenciálja lehet a megújuló energiaforrások legfontosabb tartaléka, és a környezetvédelmi szempontok is szépen teljesülhetnek.

Célszerű lenne az állami támogatásokat azoknak a megújulóknak a fokozottabb használatára koncentrálni, amelyek forrásai bőséggel rendelkezésre állnak és a beruházások tíz éven belül megtérülhetnek.

## Irodalom

- [1] Munkácsy Béla (szerk.): A fenntartható energiagazdálkodás felé vezető út Erre van előre! – Vision 2040 Hungary 2.0, 2014. ISBN 978-963-284-362-9 <http://ktf.elte.hu/wp-content/uploads/2014/09/ERRE-VAN-ELORE-2.0.pdf>
- [2] Nemzeti Energiastratégia 2030, kitekintéssel 2040-ig. ITM 2020. január
- [3] <https://www.ksh.hu>
- [4] Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Agrárgazdasági Kutatóintézet Statisztikai jelentések 2019.
- [5] <https://www.mekh.hu>
- [6] PTE Fizikai Intézet, Környezetfizikai előadás, 2006.

## Módosult az energiahatékonyságról szóló 2015. évi LVII. törvény

### Előzmények

A „Klimaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság, KLENEN” konferenciák szervezői, az ETE Energiahatékonysági Szakosztálya ([www.ete-net.hu](http://www.ete-net.hu)), az Association of Energy Engineers ([www.aeecenter.org](http://www.aeecenter.org)) Magyar Tagozata és az Energetikai Szakkollégium ([www.eszk.org](http://www.eszk.org)) a konferencia mellett évente további 3-4 szakmai rendezvényt szerveznek. 2021-ben a pandémia miatt a KLENEN'21 konferenciát szeptemberre halasztva, az előzetesen meghirdetett időpontokban,

- március 10-én az energiahatékonysági kötelezettségi rendszer (EKR), majd hozzá kapcsolódóan a kompresszorok hasznosítható és elszámolható hulladékhőjének meghatározása;
- május 26-án az almérési kötelezettséggel kapcsolatos gyakori kérdések és válaszok, majd az almérési szabályozás első évének tapasztalatai voltak a szakmai nap témái.

Az előadások megtekinthetők a [www.klenen.eu](http://www.klenen.eu) címen.

### 2021. november 29.

A KLENEN konferenciához kapcsolódó, a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal, valamint a Magyar Mérnöki Kamara támogatásával és közreműködésével 2021. november 29-én online formában szervezett szakmai nap mottója „az EKR rendszer jelenlegi és jövőbeni kihívásai, legújabb fejleményei” volt.

A szakmai napon a szervezők képviselőinek köszöntői (Virág Rudolf főtitkár, MMK, Ringhoffer Örs István főosztályvezető helyettes, MEKH, Schlosser Ilona, elnök, ESZK, Czinege Zoltán, tagozatelnök, AEE, végül levezető elnökként Tompa Ferenc, szakosztályelnök, ETE) után a MEKH Fenntartható Fejlődés Főosztály munkatársai tartottak összefoglaló és bemutató előadást a MEKH EKR kötelezettség teljesítésére szolgáló informatikai rendszerről, a kötelezettség teljesítésének lejelentésére szolgáló űrlap felépítéséről, a kitöltés fontos pontjairól az alábbiak szerint:

- Vedres Péter István – Az EKR kötelezettség teljesítése, az energiamegtakarítások lejelentésének rendszere;
- Szikszai Attila Zsolt – A kalkulációs tábla ismertetése;
- Lőrincz Tamás – A kötelezett felület ismertetése.

Ezt követően, a kérdések és hozzászólások bevezetőjeként energetikai auditorok – Czinege Zoltán kutatás fejlesztési igazgató, AlfaPed Kft. és Sitku György energetikai auditor és szakreferens, – mondták el észrevételeiket, eddigi tapasztalataikat, jobbtó javasolataikat.

Az on-line érkező kérdéseket dr. Csűrök Tibor, az Energiahatékonysági szakosztály titkára foglalta össze és továbbította a címzettek felé, akik vagy azonnal válaszoltak, vagy időt kértek a válasza azzal, hogy a Hivatal GYIK válaszfelületen válaszolnak.

A több mint 200 résztvevő érdeklődéssel hallgatta és hasznosnak és kiválóan értékelte a Hivatal ismertetőit, az előadásokat, együttesen a szakmai napot.

### A módosítás

Lapzártunkkor jelent meg a Magyar Közlöny 2021. december 2-i száma, benne a Kormány 671/2021. (XII. 2.) Korm. rendeletével az energiahatékonyságról szóló 2015. évi LVII. törvény veszélyhelyzet ideje alatt történő eltérő alkalmazásáról az alábbiak szerint:

„A Kormány az Alaptörvény 53. cikk (2) bekezdésében meghatározott eredeti jogalkotói hatáskörében, figyelemmel a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról szóló 2011. évi CXXVIII. törvény 51/A. §-ára, az 5. § tekintetében az Alaptörvény 53. cikk (3) bekezdésében meghatározott eredeti jogalkotói hatáskörében, a koronavírus-világjárvány elleni védekezésről szóló 2021. évi I. törvény 2. § (1) bekezdése szerinti országgyűlési felhatalmazás alapján, az Alaptörvény 15. cikk (1) bekezdésében meghatározott feladatkörében eljárva a következőket rendeli el:

1. § (1) Az energiahatékonyságról szóló 2015. évi LVII. törvény (a továbbiakban: Ehat. tv.) 15. § (1) bekezdés a) pontjában foglalt energiamegtakarítási kötelezettséget a kötelezett fél 2022. december 31. napjáig teljesítheti.
- (2) Az (1) bekezdés nem érinti a kötelezett fél 2022. évre vonatkozó energiamegtakarítási kötelezettségét megállapító, az Ehat. tv. 15.

§ (1) bekezdés b) pontja alapján fennálló kötelezettségét.

- (3) Az a kötelezett fél, amely e rendelet hatálybalépéséig az Ehat. tv. 15. § (1) bekezdés a) pontja szerinti energiamegtakarítási kötelezettséget teljesítette, azt az Ehat. tv. e rendelet hatálybalépésekor hatályos szabályai szerint elszámolhatja.

2. § Az Ehat. tv. 15/F. §-ában foglaltaktól eltérően a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal 2023. március 31. napjáig a nem teljesített energiamegtakarítási kötelezettség után bírságot nem szab ki.
3. § Az Ehat. tv. 21/B. § (1) bekezdés a) pontjában előírt energetikai szakreferens igénybevitelére vonatkozó kötelezettség 2022. november 15. napjától alkalmazandó.
4. § (1) Ez a rendelet – a (2) bekezdésben foglalt kivétellel – a kihirdetését követő 5. napon lép hatályba.  
(2) Az 5. § az e rendelet kihirdetését követő 19. napon lép hatályba.
5. § (1) A Kormány e rendelet hatályát a koronavírus-világjárvány elleni védekezésről szóló 2021. évi I. törvény hatályvesztéséig meghosszabbítja.  
(2) Ez a rendelet a koronavírus-világjárvány elleni védekezésről szóló 2021. évi I. törvény hatályvesztésekor hatályát veszti.

Orbán Viktor s. k., miniszterelnök”

A rendelet 1. §-a egyértelmű, a kötelezetteknek a 2021. évi kötelezettségeiket is csak 2022. december 31-ig kell teljesíteni. (Az érintettek egy része örül, a másik része csalódott, hogy főleges volt igyekezete.)

A 3. § a jogalkotó részéről némi pontosítást igényelne. Vajon csak az új kötelezettek vonatkozik? A lejárt szerződéseket elég 2022. november 22-után újrakötni, esetleg eddig az időpontig a jogszabályra hivatkozással a jelenlegi határozatlan idejű szakreferensi szerződések felfüggeszthetők?

Ezekre és a további felmerülő kérdésekre az érintettek bizonyára hamarosan választ kapnak.

# A metánhidrát

Valcz Gyula

okl. geológus, gyula.valcz@gmail.com

A metánhidrát (metánklatrát) igen nagy érdeklődésre tart számot az angol nyelvű szakirodalomban, miközben a hazai cikkek alig foglalkoznak vele. Jelen cikk arra tesz kísérletet, hogy ezt a hiányt pótolja. Megkísérli definiálni a metánhidrátot, felmérni az ezzel foglalkozó szakirodalmat, áttekinteni a geológiai és a bányászati jelentőségét. A metánhidrát különlegességét az adja, hogy mint instabil elegy csak szilárd halmazállapotban létezik meghatározott nyomáson és hőmérsékleten. Keletkezése, stabilizálódása (fennmaradása), és disszociációja ezekhez a feltételekhez kötött és magas metán tartalma miatt fontos lehet a jövő szénhidrogén ellátása szempontjából. Geológiai és klimatológiai, valamint a szénhidrogének kutatásában betölthető jelentősége szintén figyelmet érdemel.

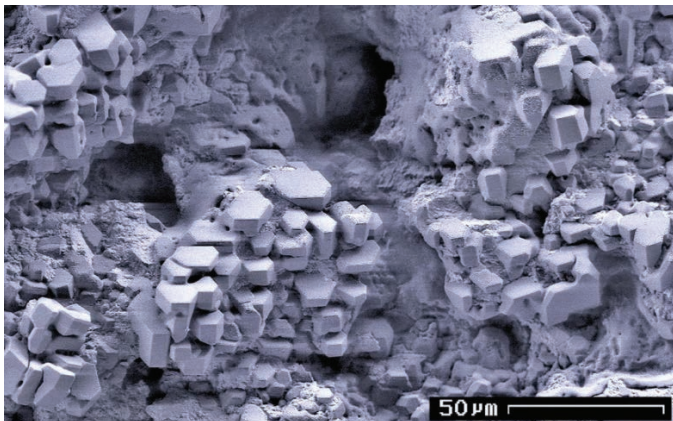
\*

Methane hydrate (methane clathrate) is of great interest in the English literature, while Hungarian articles hardly deal with it. This article attempts to make up for this shortfall, and tries to define methane hydrates, to assess the literature on this, and to reviews its geological and mining importance. The specialty of methane hydrate is that, as an unstable mixture, it exists only in a solid state at a specified pressure and temperature. Its formation, stabilization (presence) and dissociation due to these conditional and high methane content may be important for the supply of hydrocarbons of the future. Its importance in geological and climatological and hydrocarbon research also deserves attention.

\*\*\*

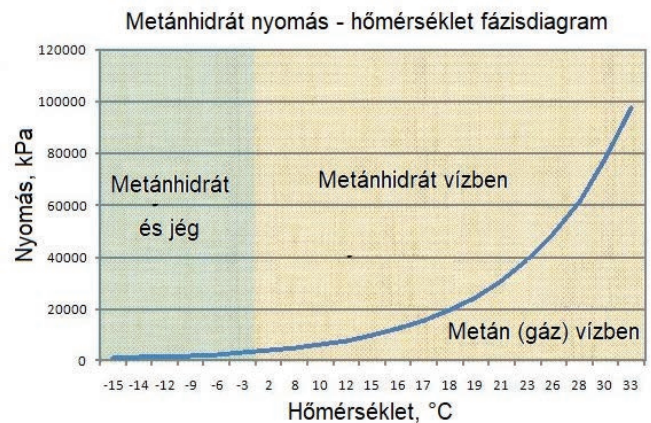
## A metánhidrát fizikai és kémiai tulajdonságai

A metánhidrát molekuláris komplex, amely víz és metán instabil elegy. Csak meghatározott termodinamikai feltételek esetén létezik, szilárd, jégszerű halmazállapotban. Sztöchiometrikus képlete nincs, mivel attól függ, hogy a komplexben mennyi metán tölti ki a kristálytanilag rendelkezésre álló helyeket. A metánhidrát elnevezés nem korrekt mivel kristályszerkezetileg, kémiailag nem hidrát (tehát nem a víz és egy másik vegyület kémiai vegyülete), hanem a kettő molekuláris, kristálytanilag meghatározott elegy. Kristályszerkezetileg



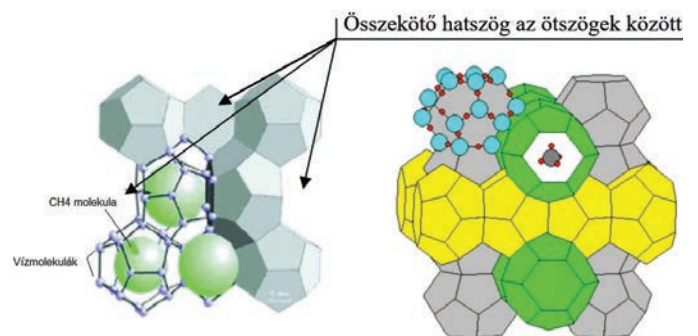
1. kép. Metánklatrát kristályok elektronmikroszkópos felvételen [1]

három kristályos módosulata van. Kettő szabályos és egy hexagonális rendszerű. Az ilyen rendszer neve klatrát. A klatrátok olyan kristályos szerkezetek (1. kép és 2. ábra) amelyekben a poláris vízmolekula által alkotott klatrumban (kalickában) egy apoláris molekula, pl. metán csapdázódik. A kalicka alkotását a vízmolekula poláris szerkezete teszi lehetővé. A vízmolekula polaritását a hidrogén híd kötésszöge okozza, amely 180 fok helyett 104 fok. A keletkező kristályszerkezet a pentagon dodekaéder, amelynek belsejében helyezkedik el a tetraédert formázó metán molekula. Az így keletkező metánklatrát csak meghatározott termodinamikai körülmények között (amelyet a metánklatrát fázisdiagramja ír le, 1. ábra) létezik és stabil, szilárd fázisú, jég-szerű anyag.



1. ábra. A metánhidrát fázisdiagramja desztillált víz és metángáz keverék esetében [2]

A metánklatrát képződése tehát egy görbe mentén bárhol bekövetkezhet. A 42 bar és 5 °C ennek a görbének csak egyetlen pontja desztillált víz esetén, amelyik a Föld felszín körülményeihez legközelebb áll. A klatrát képződés zónája a földfelszíntől (1 bar nyomás és -14 °C) akár 6 000-10 000 m-ig (600-1000 bar nyomás és +28 ÷ +33°C) tarthat. A -14÷0 °C közötti szakaszon akadály, hogy nincs folyékony víz, a nagyobb mélységekben pedig magasabb a hőmér-



2. ábra. A metánhidrát molekuláris szerkezete [3]. (A hexagonális kristály köti össze a dodekaédereket a nagyobb metánklatrát komplexben.)



1. táblázat. A metánhidrát stabilitásának nyomás és hőmérséklet adatai desztillált víz és NaCl oldat esetén 0-7°C (273,17° K -280,15°K) között.

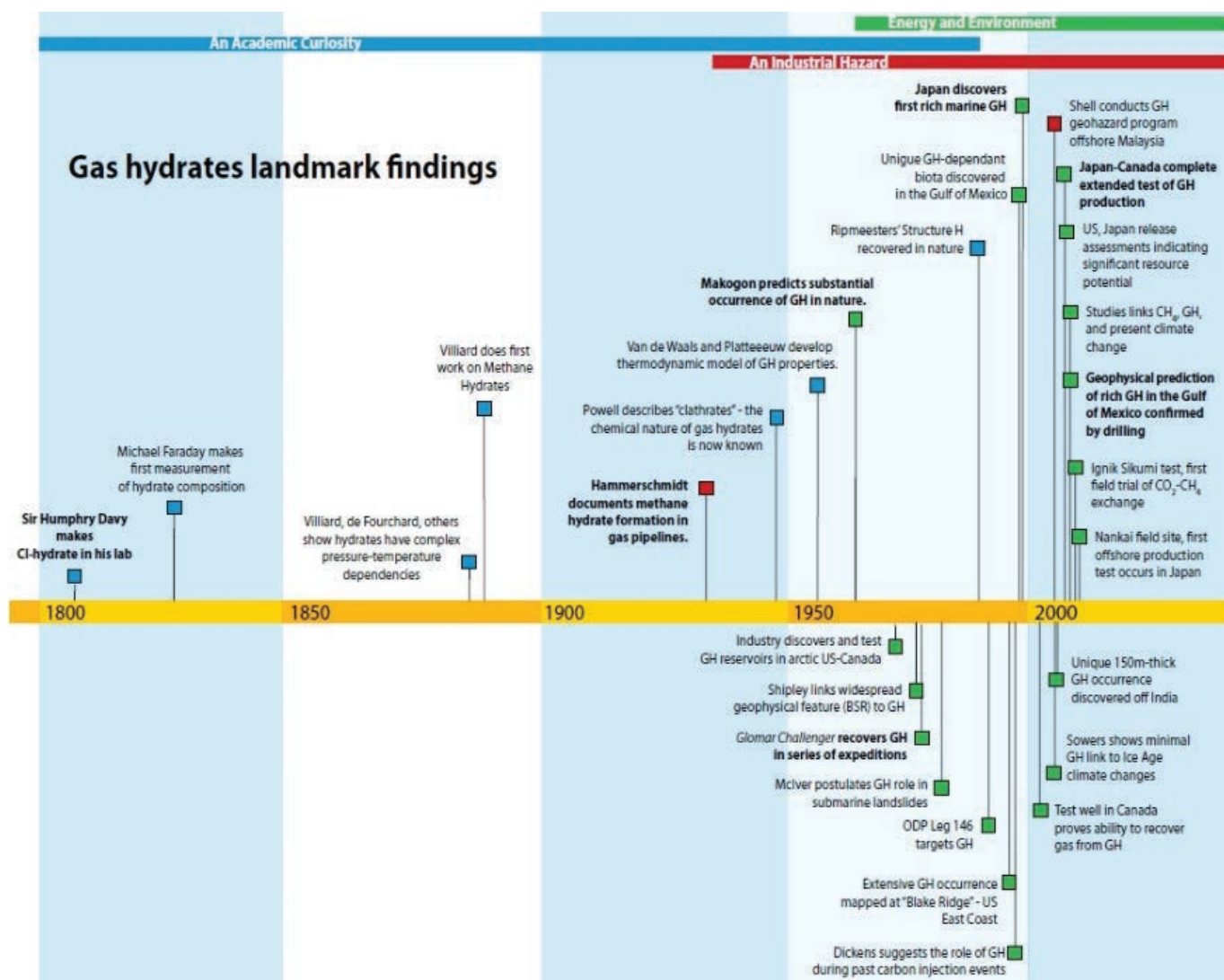
Hőmérséklet, K	NaCl tartalom és nyomás, bar					
	0m NaCl	1 m NaCl	2 m NaCl	3 m NaCl	4 m NaCl	5 m NaCl
273,15	25,808	32,74	41,89	55,95	80	128,68
274,15	28,409	36,12	46,39	62,36	90,23	148,51
275,15	31,286	39,88	51,44	69,65	102,18	172,26
276,15	34,473	44,08	57,12	78	116,25	200,58
277,15	38,01	48,76	63,54	87,61	132,94	233,99
278,15	41,939	54,01	70,83	98,75	152,79	272,87
279,15	46,318	59,91	79,14	111,77	176,4	317,7
280,15	51,207	66,57	88,68	127,07	204,35	367,67

séklet. A görbe minden egyes pontjához más geológiai és geográfiai környezet tartozhat. A metánklatrát képződése csak a víz fázisban történhet, amit a víz fázisdiagramja mutat. A nyíltvízi tengerfenéken képződő metánhidrát a víznél kisebb sűrűsége miatt azonnal elindul a vízfelszín felé. A megmaradás csak a laza, konszolidálatlan üledékekben képződő metánhidrát számára lehetséges. A metánklatrát képződését a víz sótartalma erősen befolyásolja (1.táblázat).

A vízmolekulák egy pentagon dodekaédes kalitka szerű molekula rács-szerkezetben (klatrát=ketrecebe zárt) veszik körül a metán

(tetraéder) molekulát (2. ábra). A vízmolekulák egy pentagon-dodekaéder csúcsain foglalnak helyet és egymáshoz hidrogén híd kötéssel kapcsolódnak, poláris szerkezetük miatt, ahogy a víz-jégben. A dodekaédereket a tömeges klatrát halmazban egy hatszöges kristály változat köti össze.

A metánklatrát legegyszerűbb nem sztöchiometrikus képlete:  $CH_4 \cdot 5,75 H_2O$ , amely egész molekulaszámra felszorozva  $4CH_4 \cdot 23 H_2O$ . A 23-as szám a dodekaédereket összekötő hatszög miatt lép fel, mivel a dodekaédernek csak 20 csúcsa van. Több ké-



3. ábra. A metánklatrát kutatásának története [8]

miai formulája létezik például, [4] szerint: 300K hőmérsékleten és 5kP nyomáson: 9CH<sub>4</sub>·46H<sub>2</sub>O és 24CH<sub>4</sub>·136H<sub>2</sub>O, vagy [5] szerint: 5,99CH<sub>4</sub>±0.07H<sub>2</sub>O.

A disszociációja során az alábbi mennyiségek keletkeznek rendszerint belőle (teljesen kitöltött szerkezetet feltételezve): 1 dm<sup>3</sup> metánhidrátból kb. 0,8 dm<sup>3</sup> desztillált víz + 167 dm<sup>3</sup> metán gáz [6]. A metánklatrát disszociációja a Le Chatelier-Braun elvet és Guldberg-Waage féle tömeghatás törvényt követi. Az irodalom egyaránt használja a metánhidrát és metánklatrát nevet.

A metánhidrát/klatrát feltalálási helyei a Földön: az óceánok és tengerek kontinentális shelf területei, a mélyebb tavak, a periglaciális területek, csővezetékek termodinamikailag megfelelő helyei, ahol metán és víz van jelen és a világűr. A metánklatrát képződésének feltételei: folyékony víz, metángáz, termodinamikailag a fázisdiagramnak megfelelő nyomás és hőmérséklet. Kutatásának irányai: a keletkezés, a stabilitás és a disszociáció nyomás és hőmérséklet viszonyai.

A metánhidrát keletkezését egy 1996-os kísérlet igazolja, amelyet az USA, Kalifornia, Monterey Bay-ben folytattak le a Monterey Bay Aquarium Research Institute, a Stanford University és a USGS tudósai. Ekkor a tengervízbe és a tengerfenék üledékeibe egy Ventana elnevezésű robot tengeralfutó segítségével metángázt injektáltak 910 m mélységben, ahol víz hőmérséklete +4°C volt. Ez a keverék percekben belül egy szilárd blokkot képezett, amely csillogó fehér és pelyhes volt. A kísérlet bizonyította, hogy a folyamat extrémén könnyű és gyors amennyiben a nyomás és a hőmérséklet megfelelő. A helyi hidrográfiai körülmények és a számítások azt mutatták, hogy a stabilitási zóna 525 m-es mélységig terjedhet [7].

### A metánhidrát (metánklatrát) kutatása

A metánklatrát kutatás történetét egy halszájka diagram írja le (3. ábra). A diagram 3 vonala közül a kék az akadémikus kutatást, a piros az ipari veszélyeket, a zöld az energia és környezeti kutatásokat mutatja.

A diagramból 3. oszlopot érdemes kiemelni:

- 1) A klatrát-hidrátokat először Davy Humphrey fedezte fel 1810-ben
- 2) A klatrátokat P. Pfeifer tanulmányozta 1927-ben és 1930-ban E. Hertel definiálta, mint molekuláris keverékeket, amelyek olyan anyagok melyek elemeikre esnek szét oldatban vagy gázfázisban a tömeghatás törvényt követve. 1945-ben H. M. Powel elemezte ezeknek a keverékeknek a kristályszerkezetét és klatrátoknak nevezte el azokat. (Wikipédia)
- 3) A diagram utolsó oszlopa írja le a metánklatrát kutatás jelenlegi helyzetét:

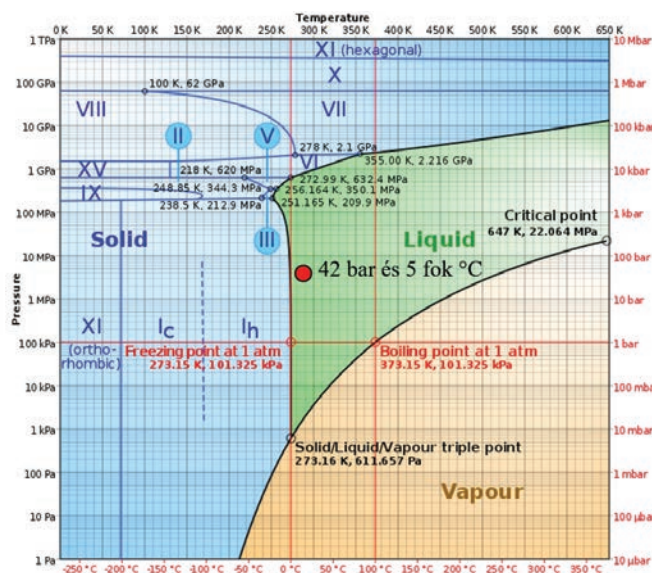
Hazardok: a Shell irányítja a geohazard programot a Malaysia offshore-on.

Energia és környezet: Japán és Kanada befejezi a kibővített rétegvizsgálatot a GH termeltetésben, US és Japán nyilvánosságra hozza, hogy jelentős készleteket tárt fel, tanulmányok a metán, gázhidrát és a jelenlegi klímaváltozás területén, gazdag gázhidrát geofizikai előrejelzésének fúrásokkal történő megerősítése a Mexikói Öböl területén, Ignik Sikumi teszt: első mezőbeli teszt a metán CO<sub>2</sub>-vel történő kihajtására, Nankai mező: első termelő rétegvizsgálat Japánban, különleges 150 m vastag GH előfordulás Indiában, rétegvizsgálattal igazolt gáztermelés Kanadában.

A metánklatrát kutatás fő irányai: laboratóriumi (alap) kutatás, bányászati területi kutatás: onshore (szárazföldi), offshore (tenge-

ri), nem konvencionális gáz termelésére irányuló kutatás. Az alap kutatás főbb tényezői: a keletkezés, a stabilitás és a disszociáció termodinamikai (P/T) viszonyai.

A metánklatrát képződéséhez szükséges és kielégítő feltételek: folyékony víz, metángáz, termodinamikailag meghatározott nyomás és hőmérséklet (4. ábra).



4. ábra. A víz fázisdiagramja és a metánklatrát képződés egy pontja

Az ismert offshore gázhidrát előfordulások mélység és hőmérséklet adatai, továbbá a disszociációjukhoz szükséges nyomás-csökkenést tartalmazza a 2. táblázat.

2. táblázat. Metánklatrát lelőhelyek a tengereken

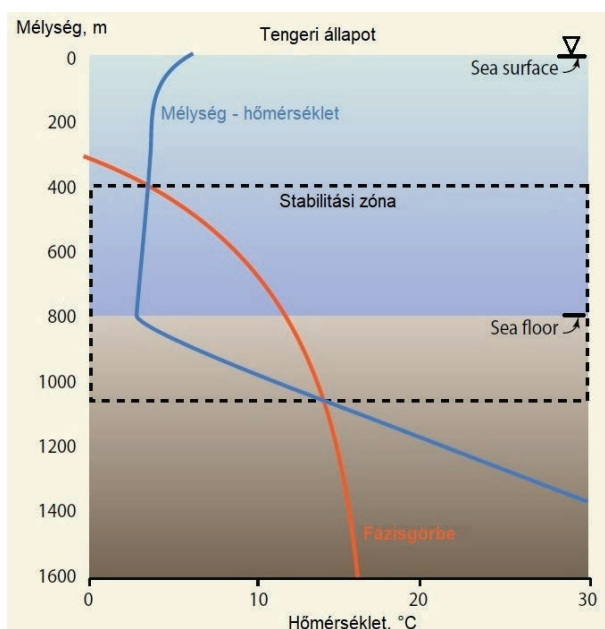
	Vízmélység	Gázhidrát telepek mélysége	BSR* mélység	Disszociációs nyomás csökkenés	Gázhidrát hőmérséklet
Hely	m	m - n	m	bar	°C
Nankai-1	945	1141-1210	1210	45	11
Mississippi Canyon	1330	1365-1470	-	115	7
Blake Ridge-1	2790	2990-3220	3220	200	11
Guatemala-2	1720	1870-2120	-	125	9,5
Mexico-1	1770	1950-2170	2540	125	7
Mexico-3	1950	2050-2212	2750	130	7,2
Guatemala-3	2000	2450-2500	2500	27	18
Black Sea	2020	2030-2040	-	160	4
Guatemala-1	2400	2750-2800	-	125	15,6
Bush Hill	2420	2440-2480	-	95	4
Japan Sea	2600	2600-2650	2650	95	17
Mexico-2	2900	3000-3077	3700	250	5,2
Costa Rica	3100	3400-3439	-	260	10
Blake Ridge-2	3500	3600-3700	3700	20	22
Peru-Chile-2	3900	3950-4000	4300	305	10
Nankai-2	4700	4800-4870	-	415	4
Peru-Chile-2	5070	5200-5260	5700	430	6,5



A metánhidrát hőmérséklete 4-22 °C között változik. A metánhidrát réteg mélysége 1141-5260 méterig terjed. A vízmélység 945-5070 méter között változik. Észre kell venni, hogy metánhidrát nem a közvetlen tengerfenéken található, hanem az iszap felszíne alatt 10-100 méterrel az üledékben.

### A metánhidrát stabilitása

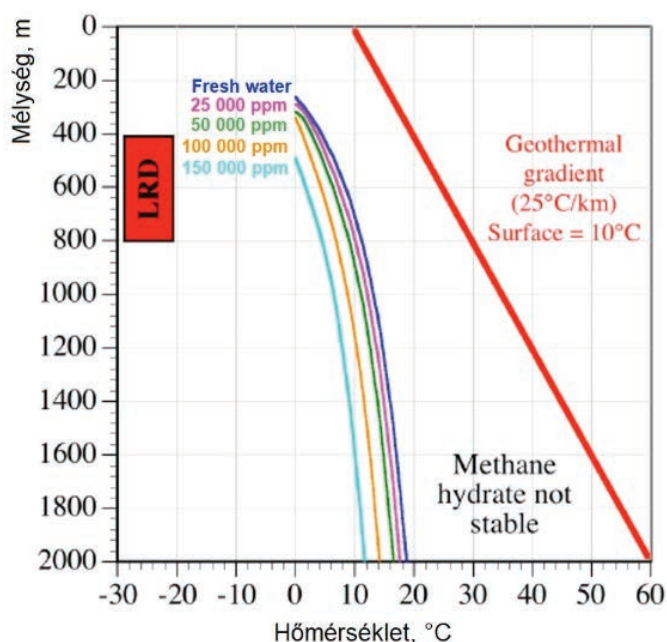
A metánhidrát stabilitását a tengerekben és permafrosztal borított periglaciális területeken a mélységgel növekvő nyomás és a változó hőmérséklet határozza meg (5. ábra). A tengervízben a hőmérséklet a mélységgel csökken a tengerfenéig, mivel tengervíz hőmérsékletét a napsugárzás és a víz fajhője (4,18 kJ/kg/K) befolyásolja. A tengerfenéktől a geotermikus gradiens (25 °C/km) a meghatározó. A jég fajhője (2,11 kJ/kg/K) kisebb, mint a víz fajhője. A permafrosztal borított szárazföldön elsősorban a geotermikus hősugárzás érvényesül így a felszíntől a permafrost alsó határáig a jég fajhője határozza meg a hőmérséklet emelkedését, a permafrost aljától pedig a geotermikus gradiens (25 °C/km) a mérvadó.



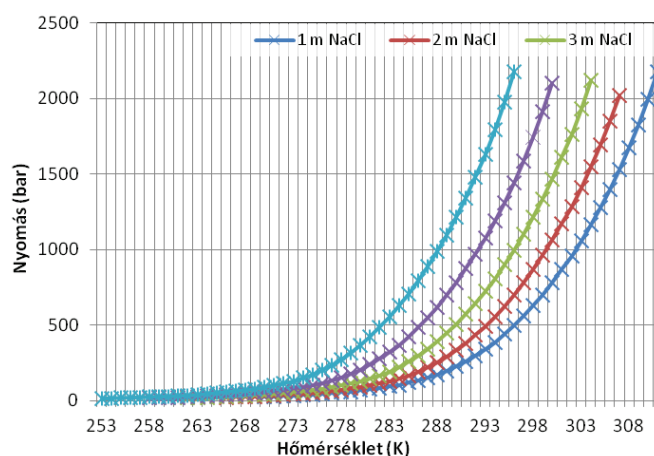
5. ábra. A metánhidrát stabilitási zónája (szaggatott vonal) tengeren és a permafrosztan [8]

A metánhidrát stabilitási zónája a permafrosztban 200-600 méterig terjed itt azonban nincs folyékony víz, tehát nem képződik metánhidrát. 600-1000 méterig a fagymentes zónában, ahol van folyékony víz fennáll a metánhidrát képződésének lehetősége. A tengervízben a metánhidrát 400-1050 méterig képződhet és stabil marad amennyiben az üledék betakarja vagy annak belsejében jön létre, és nem képes a kisebb sűrűsége miatt a felszínre emelkedni.

A metánhidrát képződését a víz szalinitása (NaCl tartalma) jelentősen befolyásolja (6. ábra és 7. ábra). A víz szalinitásának csökkenésével a metánhidrát képződésének lehetősége nő. A kontinensek körül, ahol az édesvízi folyók és patakok az óceánokba és tengerekbe ömlenek valószínűleg ezért több a metánhidrát. Ugyancsak ilyen lehet a Mexikói Öböl és a Fekete tenger.

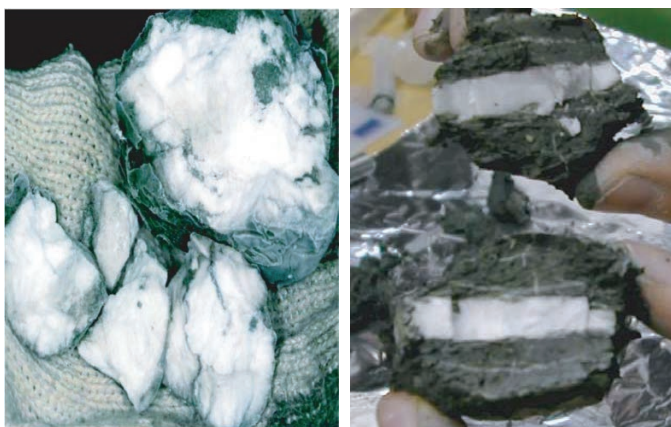


6. ábra. A metánhidrát stabilitás görbéi a szalinitás (NaCl sótartalom) függvényében a jelenlegi tengeri viszonyok esetében



7. ábra. A metán-hidrát stabilitás hőmérséklet-nyomás feltételei vizes NaCl oldatban [9]

A metánhidrát a mélyfúrásokból csak nyomás alatti magminta vevővel hozható a felszínre. A felszínen rövid idő alatt instabillá válik és szublimál. Eközben a képződő metán meggyújtható (2. kép és 3. kép).



2. kép. Metánhidrát rétegek agyagrétegek közé települve



3. kép. Az égő jég [3]

### A metánhidrát képződés geológiai viszonyai

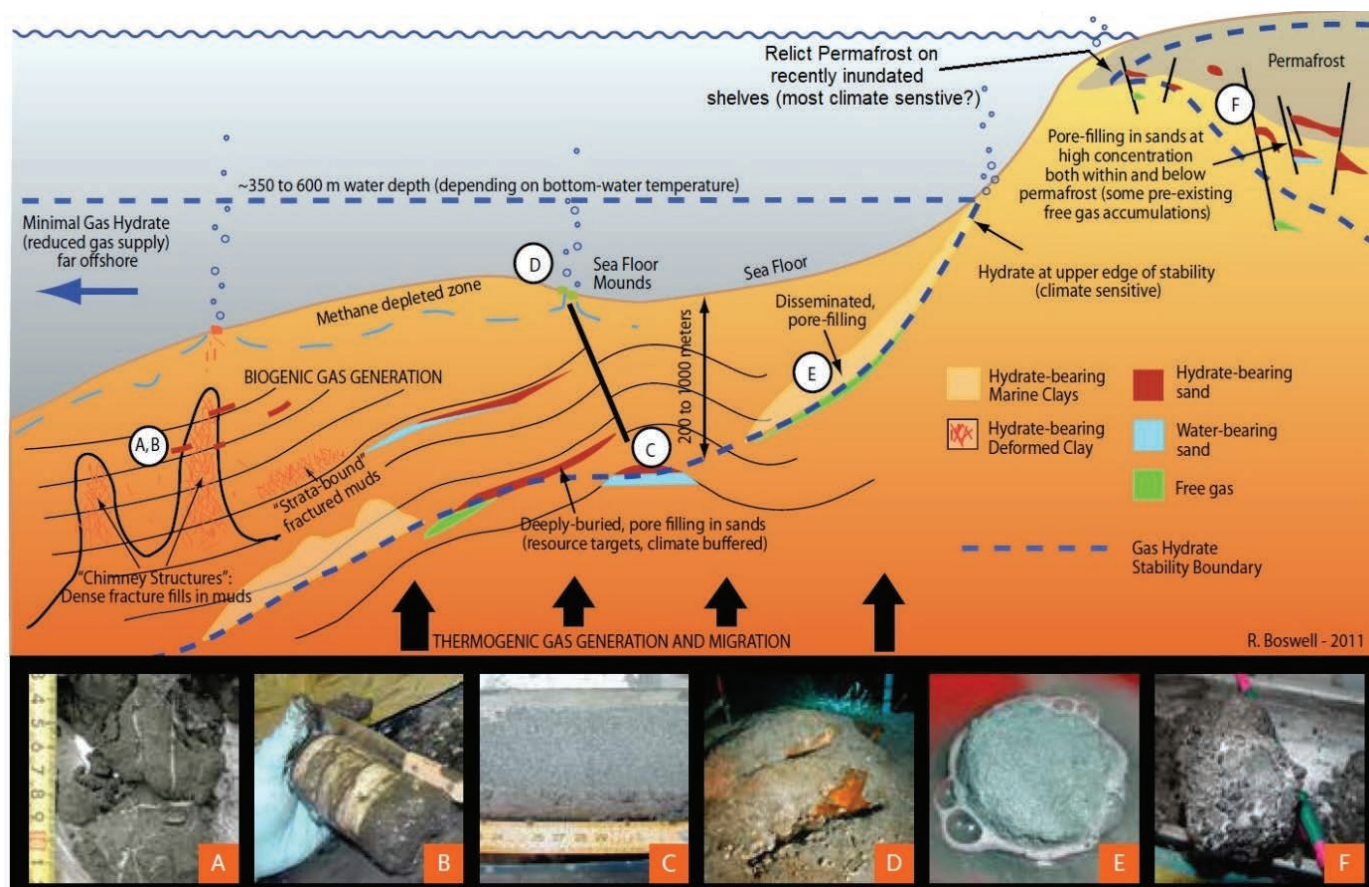
A metánhidrát képződés termodinamikailag meghatározott feltételei különböző geológiai viszonyok között megvalósulhatnak, amit a 8. ábra és 9. ábra szemléltet.

A lemeztektonikai model szerint az „ocean spreading” következtében az óceáni (bazaltos) kéreg a kontinentális kéreg alá tolódik miközben az óceán középi hátságban (rift walley) feltörő bazalt láva kétfelé nyomja az óceáni kérget (9. ábra). Eközben az óceáni kéreg a két kéregrész határán felgyülemlő üledéket magával sodorja és így az alábukó üledékes összlet megkettőződik, kivastagodik. A kivastagodó üledékből a fluidumok kipréselődnek függőlegesen felfelé és a tenger irányába. A szaggatott vonal a BSR (bottom simulating reflexion) az óceán fenéket szimuláló reflexió, amely a metánhidrát réteg(ek) kisebb sűrűsége miatt jelentkezik a szeizmikus szelvényekben. A metánhidrát előfordulásokat a 10. ábra mutatja.

A 10. ábra rávilágít, hogy a kontinentális lelőhelyek száma sokkal kisebb, mint a tengeri/óceáni lelőhelyek száma.

„Amint a jég takaró gyorsan visszavonult, a hidrát moundokban (halmokban) koncentráldódik és elkezd olvadni, kiterjed és túlnyomós lesz. Az elv ugyanaz, mint a nyomás egy fazékban: ha nem kontrolláljuk a nyomást akkor az addig emelkedik amíg a konyhában katasztrófa következik be. Ezek a moundok túlnyomósok voltak évezredekig amíg a fedő eltávozott fölülük. Ekkor összeomlottak metánt engedve a vízoszlopba.” mondja Andreassen (újságcikk). June 1, 2017, CAGE - Center for Arctic Gas Hydrate, Climate and Environment

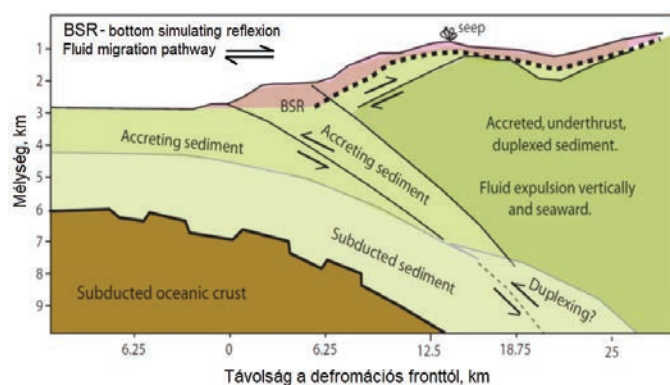
Demény Attila szerint „A jelenleg legelfogadottabb elmélet szerint a negatív  $\delta^{13}\text{C}$  csúcsért egy további, igen fontos komponens, a mélytengeri üledékek pórusaiban felhalmozódó metán a felelős.



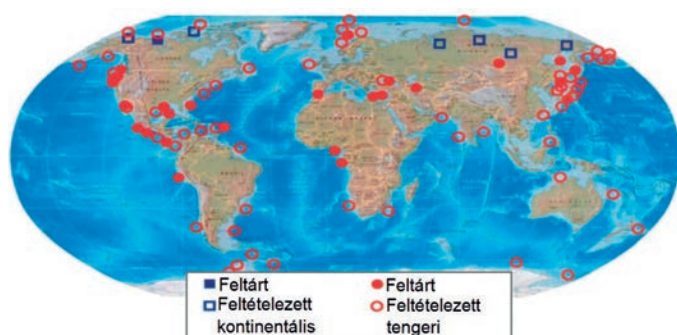
8. ábra. A metánhidrát előfordulások tipikus helyeinek sematikus ábrája a geológiai környezet függvényében [8]

A Vékonyabb és vastagabb erek, B Üledék kitöltő gázhidrát, C Póruskitöltő gázhidrát homokkőben, D Gázhidrát halom a tengerfenéken, E Szétszóródott gázhidrát (fehér foltok) a finomszemcsés üledékben (szürke), F Gázhidrát (fehér) a durvaszemcsés homokban (szürke).

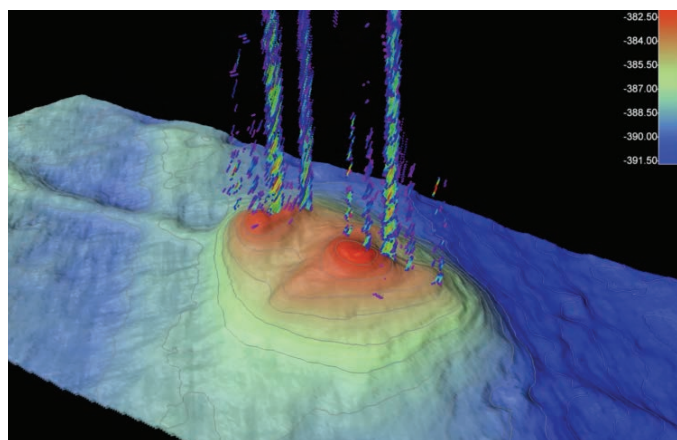




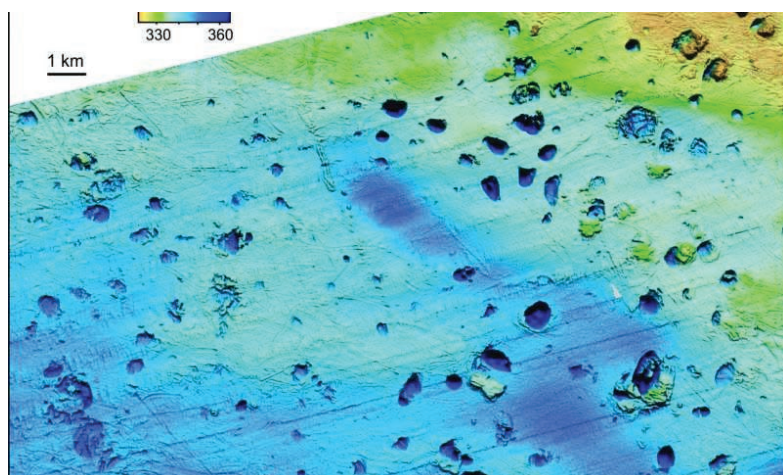
9. ábra. A metánhidrát stabilitás görbéi a szalinitás (NaCl sótartalom) függvényében a jelenlegi tengeri viszonyok esetében



10. ábra. Metánhidrát lelőhelyek a Földön 2004



11. ábra. Metánhidrát dóm(mound) a tengerfenéken [10]



12. ábra. Metán kráterek százai a tenger fenéken (bal oldal) az Arktikus tengeren és szárazföldi kráter Szibériában (jobb oldal)

Kb. 1000-1500 m vízmélységben, 5 °C körüli hőmérsékleten a metán hidrát formájában kötődik meg. A metán a leülepedett szerves anyag bakteriális degradációjával jön létre. A metanogén baktériumok a gyengébb kötéseket létesítő könnyű izotópokat részesítik előnyben, ezért a keletkező metán extrém módon dúsul  $^{12}\text{C}$ -ben ( $\delta^{13}\text{C} < -60\text{‰}$ ). Globális felmelegedés és a kontinentális lejtők üledékeinek instabilitása esetén a metán felszabadul és az óceán-atmoszféra rendszerben széndioxidá oxidálódik. Mennyisége kb. 10 000 Gt-ra becsülhető, ezért a globális szénháztartási folyamatokban fontos tényező. A metán-hidrát felszabadulásának mechanizmusa még nem teljesen tisztázott, de az elképzelések szerint néhány °C-os globális hőmérsékletemelkedés igen nagy mennyiségű metánt szabadíthat fel, ami a légköri  $\text{CO}_2$  koncentrációjának hirtelen növekedéséhez vezet.” [11].

A relatíve új hír (2018): Az arktikumban felszabaduló mai metán kitörések (fáklyák? kifúvások?) az utolsó jégkorszakban kezdődtek, és a felmelegedés hatására a mai napig folytatódtak, állapítja meg a tanulmány.

### A metángáz termelése a metánhidrátból

Két metánhidrát telep, amelyekből metánt termeltek:

1. A Mallik mező, Kanada
2. A Messoyakha gázmező, Orizország

#### Mallik mező, Kanada

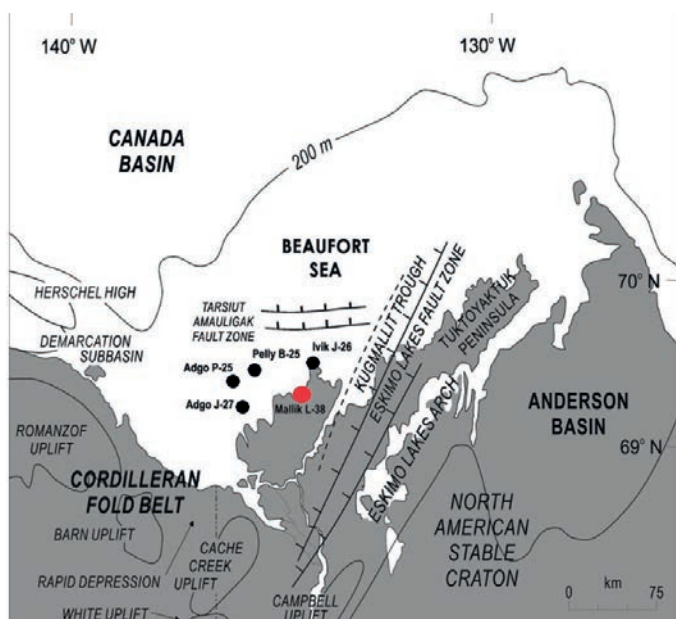
A Mallik mező kialakulása. „Észak Alaszkában és Kanadában permafrosttal kapcsolatos gáz-hidrát előfordulásokat azonosítottak főleg folyódelta környezetben leülepedett homokban gazdag üledékekben. Ezeket az üledékeket az utolsó glaciális periódusban kialakultnak gondolják amikor a talaj hőmérséklete lehült és a korábbi szabadgáz tárolók valószínűleg gázhidrátként csapdázódtak. A mai természetes gázhidrát előfordulások geometriája, befogadó-tárolója és fizikai-kémiai tulajdonságai arra utalnak, hogy a konvencionális szabad gáz felhalmozódások átalakultak amikor lehültek arra a hőmérsékletre, amely a metánhidrát stabilitási zóna állapoton belül volt és ez lehetővé tette a metánhidrát kialakulását. (lásd UNEP Global Outlook on Methan Gas Hydrates, 2012 in progress).” Megjegyezzük, hogy a metánhidrát telep nem permafrostban hanem a permafrost alatt több száz méterrel helyezkedik el. A permafrost alja (640 m) és a metánhidrát telep teteje között fagymentes zóna van.

A Mallik mezőn több fúrást végeztek, amit a 13. ábra szemléltet. A fúrás JAPEX/JNOC/CGS kooperációban mélyült és kiértékelésében 200 tudós vett részt. A fúrás célja volt: a gázhidrát telep ter-

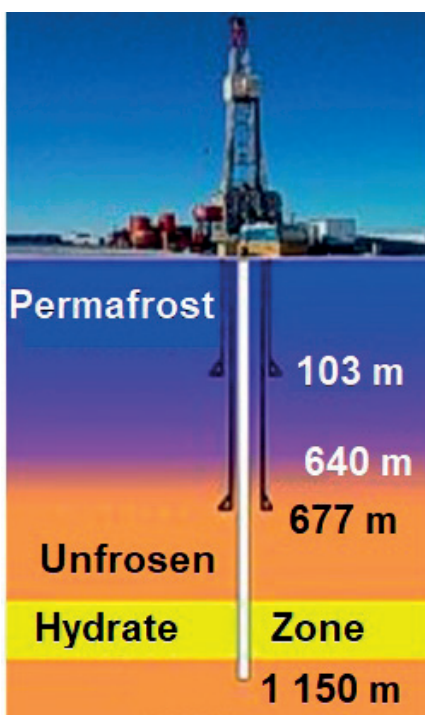
3. táblázat. A Malik mező tároló rétegfizikai paramétereit

Terület (Area) jelzése	A réteg mélysége méter	Átlagos porozitás	A gáz hidrát telítettség, %	Permeabilitás mD (hidrát nélkül)	Permeabilitás mD (hidráttal töltve)
A	892-930	32-38	~0,8	100-1000	0,1
B	942-993	30-40	0,4-0,8	1	0,01-0,1
C	1070-1107	30-40	0,8-0,9	1	0,01-0,1

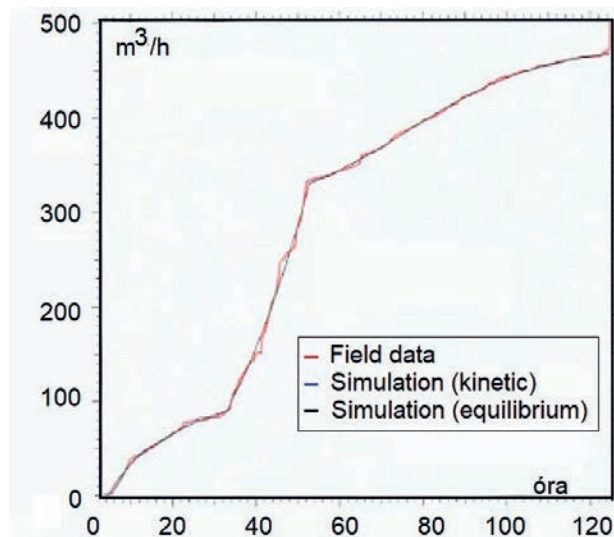
mikus serkentéssel kiváltható termelésének analízise. Az értékelő tanulmány céljai, a gázhidrátból termikusan kiváltott disszociáció mezőbeli (réteg)vizsgálati adatainak analízise, a JAPEX/JNOC/CGS Malik 5L-38 sz. gázhidrát termelést kutató fúrásban egy numerikus modell kalibrálása és érvényesítése továbbá a gáz hidrát magatartását és disszociációját leíró fontosabb paraméterek meghatározása [12], [13].



13/1. ábra. A Malik-5L-38 fúrás helye [12]



13/2. ábra. Az 5L-38 fúrás sematikus ábrája [12]



14. ábra. A fúrásból kapott termelés kumulatív diagramja [12]

Összes kitermelt metán:  $500\text{m}^3/120$  óra.

Az ebből a tanulmányból levonható következtetések:

1. Az inverz modellezés (history matching) használatával lehetséges numerikusan reprodukálni (match) a JAPEX stb. Mallik 5L-38 metángáz termelő kutató fúrás rétegvizsgálatának folyamán megfigyelt gáz termelést egy hihető disszociáció szcenárió kifejlesztésével.
2. A kalibrált paraméterek jól egyeztek az irodalmi értékekkel és a szimulált gáz és gáz hidrát telítettség eloszlás a termikus teszt végén egyezik a lyukgeofizikai adatokkal. Ez az egyezés bizonyítja a modell érvényességét.
3. Az adatok interpretálásában és a hosszú távú termelési szcenáriók kutatásában óvatosságra van szükség (a limitált adatgyűjtési periódus miatt).
4. Az olyan 3. típusú gázhidrát képződmény, mint ami a Mallik 5L-38 kutató fúrásban van tisztán termikus serkentés vagy nyomáscsökkentés segítségével egy konvencionális kút konfigurációban csak csekély termelés növekedést eredményez. A nyomáscsökkentés és termikus serkentés kombinációja lehet a legígéretesebb termelési stratégia.



15. ábra. A Messoyakha Field elhelyezkedése



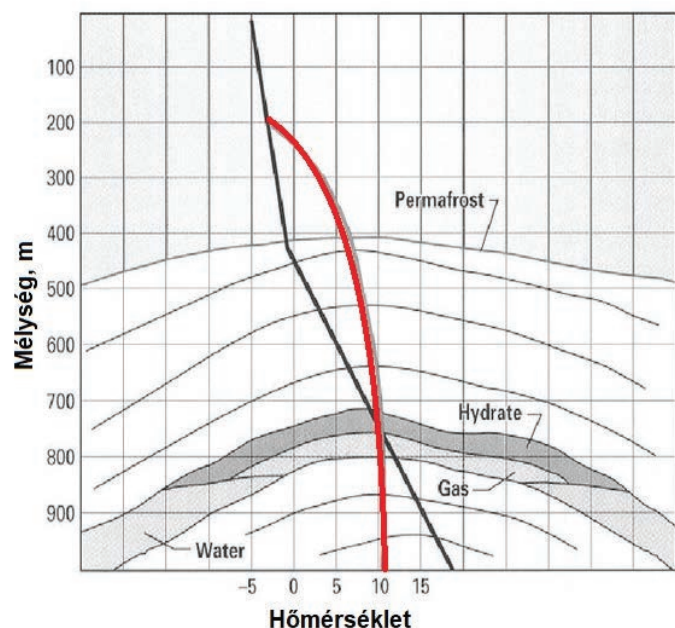
5. Innovatív megközelítés lesz szükséges a 3. típusú hidrát üledékek gazdaságos termeltetéséhez.

### A Messoyakha Mező, Szibéria

A Messoyakha gázmező egy földgázmező, amely a Nyugat-Szibériai Medence északi részén fekszik a Tajmir Dolgano-Nyenyek területén, ahol sok nagy mező van és ahol a gázhidrátok jelenlétét dokumentálták. A Messoyakha gázmező gyakran úgy szerepel, mint az in-situ gázhidrát termelés példája. Ellentmondásos bizonyítékok vannak arra, hogy vajon jelenleg a gázhidrátokat termeltetik-e mivel bizonyos kutatások jelzik, hogy a termelési adatok demonstrálják azok termelését. Más kutatások szerint a gázhidrátok nem vesznek részt a jelenlegi termelésben. (Wikipédia)

4. táblázat. A Messoyakha gázhidrát tároló rétegfizikai paraméterei

tároló vastagsága	84 m
porozitás	16–38% (átlag érték 25%)
maradék víztelítettség	29–50% (átlag érték 40%)
a hidrát tároló kezdeti rétegyomása	7,8 MPa
a hidrát tároló hőmérséklete	281–285 K
a hidrát tároló vízének szalinitása	<1.5 wt%
a szabad gáz összetétele	98,6% CH <sub>4</sub> ; 0,1% C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> ; 0,1% C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> ; 0,5% CO <sub>2</sub> ; 0,7% N <sub>2</sub>



16. ábra. A Messoyakha mező sematikus földtani szelvénye  
Megjegyezzük, hogy a hidrátaréteg 3 - 400 méterrel a permafrost alatt helyezkedik el és a közbenső rész nincs átfagyva.

### A Messoyakha mező földgáztermelési története

1969-ben a Messoyakha-Dudinka-Norilsk földgáz vezetékét fektették le a Tajmir-Autonóm Körzetben. Mind a Dudinka-i nem-vasfémek, szén és érc, mind Norilsk iparát, mint a norilski vasút és a Norilsk Bánya és Kohó Ipart nagyban támogatta a Messoyakha mező földgáz termelése.

A Messoyakha mezőt 1970-ben állították termelésbe és 1978-ig termeltették. A termelés egy jelentősen alacsony értékre került 1980-ban a nyári megszakított termeléssel és napjainkig tart. A kezdeti hozammal termeltetés alatt a rétegyomás a tárolóban nem csökkent olyan gyorsan amint remélhető volt és 2MPa-val növekedett amikor a mezőt lezárták 1978-80 között. Az olajmérnökök és geológusok rámutatnak arra, hogy az 1980 utáni termelés és a nyomás emelkedés a gáz hidrát beáramlás bizonyítéka a Messoyakha tároló formációba.

### Összefoglalás

A metánklatrát javasolt definíciója:

A metánklatrát metánból és vízből álló molekuláris komplex. Halmazállapota szilárd és csak szilárd halmazállapotban ismert, meghatározott termodinamikai feltételek mellett. három kristálytani módzata ismert. A molekulák meghatározott kristálytani szerkezetben helyezkednek el, ahol a dodekaéder klatrát kalickát a vízmolekulák alkotják amelyben mintegy csapdában metán és egyéb (nemesgáz, nitrogén stb.) molekula helyezkedik /helyezkedhet el vagy a csapda üres. A metánklatrát csak meghatározott termodinamikai határok között stabil ezen kívül csak metán gáz és víz létezik, majd a feltételek megszűnése/változása esetén disszociál és metánra és desztillált vízre esik szét. Tapasztalati képlete (nem sztöchiometrikus): CH<sub>4</sub>·5.75H<sub>2</sub>O vagy (4CH<sub>4</sub>·23H<sub>2</sub>O). Sűrűsége 42 bar nyomáson és 5 °C hőmérsékleten: 0,9 g/cm<sup>3</sup>.

A klatrát képződése, stabilizálódása és disszociációjának folyamatai jelentős változásokhoz vezethetnek a folyamatok környezetében:

1) A tengervízben képződő klatrát a környezetében növelheti a víz szalinitását. A képződő klatrát sűrűsége kisebb, mint a sós vízé ezért a felszínre emelkedik, miközben és ahol disszociál. A képződő metán növeli a klimatikus hatást a desztillált víz viszont csökkenti a felszíni víz szalinitását.

2) A konszolidálatlan üledékben kialakult metánklatrát a környezet termodinamikai viszonyainak (P,T) változásának hatására disszociál és először megemeli az üledék felszínét (pingo képződés, moundok) majd azt áttörve a gáz a felszínre áramlik.

3) A mélyebb rétegekben vagy szabadgáz telepekben képződött és stabilizálódott klatrát a mélyebb rétegekben vagy gáztelepekben hosszabb ideig megmarad. A geotermikus felmelegedés hatására a kiváló gáz túlnyomást okozhat. A gáz kitermelésekor a megmaradt klatrát disszociál és a gázzal együtt víz termeléshez vezet (kondenzvíz). A gáztermelés következtében fellépő termodinamikai változások hatására a metán és a víz redisszociál és újra metán klatrát képződik dugulást okozva a csővezetékben.

Az agyagásványokba települt metánklatrát a legújabb laboratóriumi kutatások szerint a smektit csoport tagjaival (montmorillonit és nontronit) agyagásvány metánhidrát komplex (MMH és NMH) kialakulásához vezethet. Ez a kérdés meghaladja ennek a cikknek a kereteit ezért ezzel a későbbiekben külön kívánunk foglalkozni.

Köszönetnyilvánítás: Elsősorban köszönettel tartozom Bánhidi István aranydiplomás olajmérnök és okleveles matematikus barátomnak és kollégámnak, aki felhívta a figyelmemet a metánhidrát/klatrát-ra és akivel ezt a munkát közösen, minden mondatát egymással megvitatta készítettük. Köszönet Dr. Nemes László vegyész mérnöknek, aki a rendelkezésünkre bocsátotta azt a hatalmas mennyiségű irodalmat, amelyet a cikkéhez összegyűjtött.

Ugyancsak köszönettel tartozom Dr. Szalay Árpádnak és Dr. Unger Zoltánnak, akik az általuk írt cikkeket a rendelkezésemre bocsátották. Továbbá munkánkhoz segítséget nyújtottak mindazok, akik akárcsak egy-egy telefonszámmal hozzájárultak ahhoz, hogy előre léphessünk: Dr. Galács András, Dr. Kiss Balázs, Dr. Sajgó Csanád, Dr. Szanyi János, Dr. Varsányi Irén. Köszönet Az MTA Szerves Geokémiai Kutatócsoport és az OMBKE Budapesti Csoportnak, hogy immár két alkalommal lehetővé tették ennek az anyagnak előadásként való bemutatását.

## Irodalomjegyzék

- [1] Woods Hole Coastal and Marine Science Center, „Scanning electron microscope image of gas hydrate crystals in a sediment sample”.
- [2] Wikipedia, „Methane clathrate,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Methane\\_clathrate](https://en.wikipedia.org/wiki/Methane_clathrate).
- [3] Nemes László, „A metánhidrát sztori,” Kémiai Panoráma, 2015. v2(14).
- [4] R. H. Crabtree, „Aspects of Methane Chemistry,” Chemical Reviews, pp. 987-1007, 1995, v95.
- [5] S. Circone, S. H. Kirby és L. A. Stern, „Thermal Regulation of Methane Hydrate Dissociation: Implications for Gas Production Models,” Energy and Fuel, p. 2357–2363, 2005, v19 (6).
- [6] C. A. Rochelle és D. Long, „Gas hydrate stability in the vicinity of a deep geological repository for radioactive wastes : a scoping study,” British Geological Survey, Nottingham, UK, 2009.
- [7] Lasso Amundsen-Martin Landö, „Burning Ice,” Statoil, 2012.
- [8] Y. C. Beaudoin, W. Waite, R. Boswell és S. R. Dallimore, „Frozen Heat: A UNEP Global Outlook on Methane Gas Hydrates. Volume 1.,” United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, 2014.
- [9] Bánhidi István, „Hidrát képződési folyamatok fizikai-kémiai vonatkozásai, a gázhidrátok PVT tulajdonságainak bemutatása különös tekintettel a nagy nyomású és nagy hőmérsékletű (HTHP) rendszerekben alkalmazott technológiákra,” Nagy hatékonyságú hozamnövelő rétegkezelési eljárások kutatása és fejlesztése, GINOP -2.3.2.-15- 2016 – 00010, 2016.
- [10] Centre for Arctic Gas Hydrate, Environment and Climate (CAGE), „Domes of frozen methane may be warning signs for new blow-outs,” 2017. [Online]. Available: <https://cage.uit.no/2017/06/06/domes-of-frozen-methane-may-be-warning-signs-for-new-blow-outs/>.
- [11] Demény Attila, „Stabil izotóp geokémia,” Magyar Kémiai Folyóirat, 2004. 109-110 (4).
- [12] G. J. Moridis, T. S. Collett, S. R. Dallimore, T. Inoue és T. Mroz, „Analysis and interpretation of the thermal test of gas hydrate dissociation in the JAPEx/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas hydrate production research well,” in Scientific Results from the Mallik 2002 Gas Hydrate Production, Vancouver, Canada, Geological Survey of Canada, 2005.
- [13] S. R. Dallimore és T. S. Collett, Scientific results from the Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada, Vancouver, Canada: Geological Survey of Canada, 2005.
- [14] Y. Makogon, „Hydrates of Natural Gas,” in PETROLEUM ENGINEERING – UPSTREAM, UNESCO - EOLS, 1974.
- [15] „Like ‚champagne bottles being opened’: Scientists document an ancient Arctic methane,” Washington Post, 2017. Június 1..
- [16] J. Steffen, „geomar.de,” [Online]. Available: <https://www.geomar.de/en/news/article/why-did-gas-hydrates-melt-at-the-end-of-the-last-ice-age>.
- [17] Jan Steffen, GEOMAR, „Why did gas hydrates melt at the end of the last ice age?,” 2018. [Online]. Available: <https://www.geomar.de/en/news/article/why-did-gas-hydrates-melt-at-the-end-of-the-last-ice-age>.
- [18] C. Ruppel, „Methane hydrates and the future of natural gas,” in The future of natural gas: an interdisciplinary MIT study, Cambridge, MA, MIT Energy Initiative, 2011, p. in Chapter 2.
- [19] Bei Liu, Qing Yuan, Ke-Hua Su, Xin Yang, Ben-Cheng Wu, Chan-Yu Sun és Guang-Jin Chen, „Experimental Simulation of the Exploitation of Natural Gas Hydrate,” Energies, pp. 466-493, 2012, v5(2).
- [20] T. Collett és G. Ginsburg, „Gas hydrates in the Messoyakha gas field of the West Siberian Basin - A re-examination of the geologic evidence,” International Journal of Offshore and Polar Engineering, pp. 22-29, 1998, v8 (1).
- [21] J. Kimantas, „High concentrations of methane plumes found rising from the floor of the East Siberian Arctic,” Water, 2014, v40 (5).
- [22] K. G. Osadetz és Z. Chen, „A re-evaluation of Beaufort Sea-Mackenzie Delta basin gas hydrate resource potential: petroleum system approaches to non-conventional gas resource appraisal and geologically-sourced methane flux,” Bulletin of Canadian Petroleum Geology, pp. 56-71, 2010, v58 (1).
- [23] A. M. Trehu, C. Ruppel, M. Holland, G. R. Dickens, M. E. Torres, T. S. Collett, D. Goldberg, M. Ridel és P. Schulteiss, „Gas Hydrates in Marine Sediments, Lessons from Scientific Ocean Drilling,” Oceanography, 2006, v19 (4).

## Módszertani segédlet és számoló tábla

A MEKH módszertani segédletet és az energiamegtakarítás mértékének megállapítását segítő számoló táblát készítette, amivel az auditorok és az auditáló szervezetek munkáját kívánja segíteni. A módszertani segédlet és a számoló tábla célja, hogy támogatást nyújtson az energetikai auditoroknak és az EKR-ben elszámolható végsőenergia megtakarítás hitelesítését végző energetikai auditáló szervezeteknek az elszámolható végsőenergia megtakarítások előkalkulációjában, valamint ellenőrzési lehetőséget biztosítson a számítások helyességére vonatkozóan. A módszertani segédlet és az EKR elszámoló tábla a végfelhasználási energiamegtakarítással kapcsolatos adatszolgáltatásról szóló 17/2020. (XII. 21.) MEKH rendelet szerinti EKR adatgyűjtő rendszer által alkalmazott háttérszámításokat tartalmazza, ezért használata feltétlen javasolt a bejelentésre kerülő, elszámolható megtakarítások előzetes számításához. A módszertani segédlet és a számoló tábla a MEKH energiahatékonysági tájékoztató honlapján érhető el, a <https://www.enhat.mekh.hu/ekr> címen a megfelelő menüpont alatt.

[mekh.hu-enhat.mekh.hu](https://mekh.hu-enhat.mekh.hu)



# Virtuális Erőmű Program (VEP)

## 10. jubileumi Parlamenti Díjátadó Gála



**Közel kétéves előkészítő munka eredményeképpen a Virtuális Erőmű Program (VEP) 10. jubileumi Parlamenti díjátadóján került sor Magyarország legnagyobb méretű klímavédelmi és fenntarthatósági szövetségének hivatalos létrehozására. A VEP tulajdonosának ötlete alapján felállított első Nemzeti Klímavédelmi Szövetségben (NKSz) az ország megyéi és a Virtuális Erőművet üzemeltető Mi6 részvételével a teljes országot lefedő fenntarthatósági hálózat jön létre és épül fel a következő években.**

A VEP közben minden várakozást felülmúlva nőtt és 2021-re elérte 2030-as céljait: Paks után hazánk második legnagyobb erőműve lett.

Kelet-közép Európa piacvezető, Európai Bizottsági díjas, ENSZ és EU-s jogyorkolat fenntarthatósági mintaprojektje, a Virtuális Erőmű Program (VEP) 10 éves jubileumi, egyben XII. díjátadó gálája, melyet Dr. Áder János köztársasági elnök fővédnökölt, valóban ünnepire sikerült.

A VEP tulajdonosa és ügyvezetője, Dr. Molnár Ferenc ismertette a VEP utóbbi 2 évének eredményeit bejelentette: a VEP minden várakozást túlszárnyalva olyan mértékben nőtt 2020-2021-ben, hogy mostanra elérte a 2030-as céljait. Már csak Paks kapacitása nagyobb, mint a legtisztább magyar erőműé.

Kitért arra is, hogy ebben a két évben gyakorlatilag a teljes önkormányzati szektort sikerült a program mellé állítani, közben – számos új, innovatív, mesterséges intelligenciával támogatott megoldással – közel 10-szeresre nőtt a vállalozási tagok száma, és elindult a lakossági VEP is – saját közösség-építési applikációval és az ingatlanok felújítását műszaki szakmailag és állami támogatás-elérés szempontjából is segítő új start up-okkal.

A program védnöke, a Nemzeti Fenntartható Fejlődési Tanács elnöke, Dr. Szili Katalin kiemelte, hogy: Magyarország legnagyobb zöld erőműve, egyben immáron a 2. legnagyobb erőműve, szén-dioxid egyenértékben, sőt „virtuális erdőben” is ki tudja fejezni idéntől eredményeit: a VEP hazánk éves szén-dioxid kibocsátásának közel 10%-át váltaná ki, azaz több, mint 2 teljes megye méretével azonos a szén-dioxid kiváltása. Mindez virtuális erdő egyenértékesben: kb.

7,5%-pontos erdőszűlség-növekménnyel, és ehhez 6,1 Mha virtuális tölgygel és közel 3,8 Mha kontinentális, virtuális erdővel egyenértékű.

A 2021-es díjátadó gálán, a legzöldebb önkormányzat díjat idén Pécs városa, a legzöldebb vállalkozását a Saint Gobain, Magyarország a legzöldebb megyéét pedig Fejér megye vehette át. A legnagyobb energia-megtakarítást hozók között volt a MOL, a Penny Market, az Avalon Park, a Teva Gyógyszergyár és a HELL Energy Magyarország is.

Stratégiai megállapodás született az ELTE-vel, a Vállalkozók Országos Szövetségével (VOSz) és az Országos Kórház Főigazgatósággal (OKFO) is.

A VEP a pandémia ellenére 2 év alatt közel 1000, elsősorban vidéki klímavédelmi és fenntarthatósági célú szemléletformáló rendezvényt valósított meg. Az ezeken és digitális felületein elért lakosok száma meghaladja az 1 millió főt, azaz a teljes magyar lakosság 10%-át.

Az idei év legnagyobb sikerének azt tartja Molnár Ferenc a 2030-as célok elérése mellett, hogy a Megyei Önkormányzatok Szövetségének (MÖOSz) aktív közvetítésével, közel kétéves tárgyalás-sorozat eredményeképpen valamennyi megye társalapítói belépésével, a VEP kezdeményezésére és tagsága mellett létrejött Magyarország legnagyobb klímavédelmi hálózata, a Nemzeti Klímavédelmi Szövetség (NKSz).

A Szövetség célja, – amely az Alkotmányból vezeti le a jövő generációk jogát egy fenntartható világhoz – hogy minden olyan szervezet és személy klímavédelmi törekvéseit támogassa, akik alkotó és együttműködési szándékkal tenni szeretnének a klímaváltozás ellen. Ehhez megyénként, egy „KlímaPont” szervezetrendszer is létrehozna majd a jövőben.

Kiemelkedő siker, hogy a VEP kockázati tőke-alapjának segítségével a közel 100 jelentkezőből az utóbbi években 15 céget mentoráltak és juttattak komoly (van akit milliárdos) forráshoz az EMVITIS digitális platformjának is köszönhetően, amelynek mintáját azóta már több állami cég is átvette. Ebből 8 cég esetében sikerült az exit is – azaz a piaci célra való értékesítés.

A VEP tulajdonosa hangsúlyozta, hogy a VEP jövő időszak legnagyobb vállalkozása a „lakossági VEP” felfuttatása amelyben egy új, fiataloknak szóló frontális online és applikációra alapozott klímaplatform, a V-Go mellett, egy mesterséges intelligenciával támogatott, a vidéki lakossági ingatlanok felújítását szakmailag és támogatás-szervezésben is segítő, egyszerű, egyablakos online program az EMZBI (Első Magyar Zöld Beruházás-szervező Integrátor modell) segíti majd a lakosságot a legrezsicsökkentőbb, egyben a legolcsóbb felújítás megtervezésében és finanszírozás, ill. kivitelezés-szervezésében. Erre a VEP már egy új startup-ot is alapított.

A hazai építkezés mellett visszatér a nemzetközi bővítés is: a pandémia ellenére egy direkt brüsszeli forrást elnyerve erre a célra, újra expanzív nemzetközi kiterjesztést is elindít a VEP, de a korábbiaktól eltérően immár pénzügyileg önfenntartó, ún. franchise modellben – első körben 6 Európai országot megcélolva.



# Magyar Kapcsolt Energia Társaság XXIV. éves konferencia

2021. október 06.

## Kapcsolt energiatermelés a karbonsemleges energetika alappillére (konferencia beszámoló)

Ismét október, ismét online MKET konferencia.

Amikor a 2020-as évi hagyományos konferenciánkat a COVID-19 miatt át kellett terelnünk az online térbe, még reménykedtünk, hogy 2021 tavaszán már hagyományos konferenciát tarthatunk. Aztán ahogy elkezdődött az év, a 3. hullám elmosta a tavaszt és egyben a jelenléti konferencia lehetőségét is. Ezért, látva az őszi helyzet bizonytalanságát, úgy döntöttünk, idén októberben is online felületen szervezzük meg a konferenciát, így biztosítva tagjaink számára, hogy bár a személyes találkozásra nincs lehetőség, de az előadók magas színvonalú előadásai eljuthatnak Önökhöz, Hozzátok.

A hazai és a nemzetközi energia szektor sok új kihívással találta szembe magát 2021-ben. A megújuló energiatermelés mind nagyobb térnyerése egyrészt üdvözlendő, másrészt az ellátásbiztonság miatt azonnali intézkedések, fejlesztések váltak szükségesek. A kapcsolt energiatermelés esetén a tüzelőanyag valamint széndioxid kibocsátási kvóta árak emelkedése jelentenek új kihívást, amit a hazai termelők esetében a gyenge forint árfolyam és ezzel összefüggésben a karbantartási költségek szignifikáns növekedése tovább fokoz.

Konferenciánkat igyekeztünk úgy megszervezni, hogy a fenti kérdések megválaszolása mellett kitekintést nyújtsunk az elkövetkezendő évekre, évtizedekre is. A karbonsemlegesség irányába tett lépések olyan új kihívásokat vetnek fel, amelyek már hagyományos módon nem, csak nagyfokú innovációval oldhatóak meg. Ezen fejlesztések már napjainkban is folynak és a következő évtizedekben meghatározzák az energiaellátás fő irányait. Gondolunk itt a Hidrogén alapú energia termelésre/tárolásra vagy az aggregátorokra, amelyek legfontosabb feladata a termelői-tárolói-fogyasztói portfóliók optimalizálása lehet.

### Délelőtti előadások rövid összefoglalói:

#### Papp András elnök (MKET)

Papp András, az MKET Elnöke nyitotta meg az MKET idei, online konferenciáját. Köszöntőjében elmondta, hogy az MKET legfőbb feladata továbbra is a tagok érdekvédelme és a szakmai információk minél szélesebb körben történő terjesztése

Az Elnök úr köszönetet mondott a szervezőknek, az MKET Kollégáinak, az előadóknak és a támogatóknak egyaránt, hiszen nélkülkük nem jöhetett volna létre az online konferencia.

Idén is online térben történt meg az MKET díjazottainak kihirdetése is:

#### Az év Kiserőműve pályázat helyezettei:

1. Főtáv Zrt. Tatai úti Fűtőmű
2. MVM Balance Zrt. Észak-Budai Fűtőmű
3. MVM MIFÚ Kft. Miskolc Diósgyőri Gázmotoros Erőmű

#### Heller László díj:

Mikó László lett az év díjazottja, aki az elmúlt két évtizedben állhatatos munkával dolgozott több hazai kapcsolt energia termelő erőmű megvalósításán és üzemeltetésén. 2005.-től volt a CHP Kiserőmű Kft. ügyvezetője valamint 2018.-tól a Veolia Zrt. gázmotoros portfóliójának vezetője. Gratulálunk szakmai pályafutásához, és nyugdíjas éveire kívánunk jó egészséget.

Végezetül az Elnök úr elmondta, hogy az MKET elnöksége rendkívül fontosnak tartja a társadalmi felelősségvállalást különösen ezekben a válságos időkben. Ezért az Elnökség úgy döntött, mivel az MKET idei gazdálkodása is lehetővé teszi, hogy az SOS Gyermekfalvakat anyagilag is támogassa szervezetünk. Egyben felkéri a tagságot, ha van lehetőségük, Ők is járjanak el hasonlóan.

#### Felsmann Balázs (MEKSZ)

Felsmann Balázs a MEKSZ elnöke előadását a gazdaság főbb szektoraira jelenleg nehezedő legnagyobb kihívás, a 2050-re meghatározott kibocsátás csökkentési célok ismertetésével kezdte. Ezen célok elérésének legfőbb útja sok szektorban az elektrifikáció (hőszivattyús fűtés, e-mobilitás) amely várhatóan a visszahat az energetikai szektorra, növelve a keresletet és egyben a hálózati infrastruktúra terhelését is. Ezen új kihívásoknak pedig az energiaszektor csak a jelenleginél rugalmasabb működési modellel tud megfelelni, melyhez szükséges új technológiák (tárolók, Hidrogén alapú energiatermelés) és új üzleti modellek (aggregátorok) bevezetése.

#### Batta Gergő (MAVIR Zrt.)

Batta Gergő a MAVIR operatív vezérigazgató-helyettese bemutatta, milyen új kihívásokkal szembesül a magyar rendszerirányító a folyamatosan változó hazai és nemzetközi környezetben. A hazai oldalról a forrásösszetétel belülről a megújulóknak jelentős térnyerése, míg nemzetközi oldalról a minden területen megjelenő piacintegrációs követelményeknek való megfelelés jelent megoldandó rövid és középtávú feladatokat. Legnagyobb nehézséget a termelői összetétel változása miatt megnövekedett szabályozási igények kielégítése jelenti napjainkban, különös tekintettel arra, hogy közcélú hálózatra termelő nagyobb erőművi egység az elmúlt évtizedben nem épült hazánkban. Ezért az ellátásbiztonság fenntartásához a MAVIR részéről is újszerű eszközökkel kell közelíteni, beleértve a jelenlegi szabályozó kapacitások (elsősorban kapcsolt energiatermelő egységek) életben tartását, a megújuló erőművek menetrendtartásának pontosítását illetve új piaci szereplők (aggregátorok, tárolók, szabályozott fogyasztók) gyors beintegrálását a rendszerbe.

#### Dr. Nemes Csaba (MEKH)

Dr. Nemes Csaba az MEKH főosztályvezetője előadásában az energiahatékonyság növelését valamint a karbonsemlegesség elérését tekinti a szabályozó hatóság elsődleges céljának. Ezen

célok elérése érdekében a szabályozói környezet folyamatos változásban van. A támogatási rendszerek elsősorban a megújuló alapú energiatermelést segítik (beleértve a megújuló alapú kapcsolt energiatermelést is) de az energiahatékonysági mutatók illetve a rugalmasság miatt a nagy hatásfokú kapcsolt fosszilis alapú energiatermelésnek is helye van a rendszerben, különös tekintettel a nagyfokú elektrifikációra akár a kommunális területen (fűtés-hűtés) akár a közlekedésben (e-mobilitás).

#### **Dr. Béres Zsuzsa (ITM)**

Dr. Béres Zsuzsa ITM főosztályvezető előadásában szabályozói szempontból mutatta be a hazai villamos energia szektorban bekövetkező várható változásokat. A két hangsúlyos terület az hazai fogyasztók hatékony és biztonságos ellátása valamint a vállalt klímacélok teljesítése. Ezek érdekében került kialakításra a Nemzeti Energiestratégia és a Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia, melyek a kibocsátáscsökkentésre nem teherként, hanem a gazdasági növekedés egyik lehetőségeként tekintenek, amelyekhez a kormányzat vissza nem térítendő fejlesztési forrásokat is biztosít.

#### **dr. Légrádi Gergely – dr. Hanis Dávid (Oppenheim Ügyvédi Iroda)**

dr. Légrádi Gergely és dr. Hanis Dávid az Oppenheim ügyvédi iroda képviseletében átfogó képet nyújtottak a Tiszta Energia Csomag (CEP) hazai implementálásakor a VET-ben bekövetkezett legfontosabb változásokról és az ennek következtében megjelenő új piaci szereplőkről, azok jogairól, lehetőségeikről. A legszembeűnőbb változásként a korábbi termelő-kereskedő-fogyasztó felosztás szűnik meg, hiszen az új szereplők (aktív fogyasztók, energiaközösségek, aggregátorok) a korábbi felosztás szerinti feladatok közül egyidőben többet is ellát(hat)nak.

#### **Orbán Tibor (MaTáSzSz)**

Orbán Tibor a MaTáSzSz elnöke a távhőtermelés forrásoldali összetételének bemutatásával vezette fel előadását, mely szerint jelenleg a megtermelt távhőmennyiség több mint fele nagy hatékonyságú kapcsolt energiatermelésből származik, jelentős primer energia megtakarítást indukálva. Sajnos azonban bár a Nemzeti Energiestratégia nevesíti a kapcsolt energiatermelést mint magas hatékonyságú technológiát, ennek ellenére már 20 éves távlatban sem számol vele. És ezen trendet a jelenlegi hőárképzési anomáliák tovább erősítik, mely folyamat végeredménye akár a kapcsolt energiatermelés háttérbe szorítása is lehet, amely mind hő- mind villamos energia ellátási oldalról is kockázatokat rejt.

#### **Istvánffy György (HUPX Zrt.)**

Istvánffy György a HUPX Piaci igazgató előadását a jelenlegi piaci környezet bemutatásával kezdte, melynek főképp az elmúlt hónapokban a villamos energia árának szignifikáns emelkedése a legfőbb jellemzője mind hazánkban mind a környező országokban. Bár ezen folyamatok a termelők részére üdvöztetőek is lehet(né)nek, az önköltségi árak növekedése (földgáz, EUA) az ebből származó eredménynövekedést teljes egészében felemészti(het)ji. Az egyéb gazdasági szereplő számára pedig a tartósan magas villamos energia árak további áremelkedéseket indukálhatnak. A HUPX a folyamatos fejlesztéseivel igyekszik a piaci stabilitást biztosítani Ennek legfőbb iránya a környező országokkal a villamos energia piacok összekapcsolása, amely hosszú távon az árak kiegyenlítéséhez, mérsékléséhez kell hogy vezessen. Ezenkívül a termékek

időtartamának és a piaci időablakoknak a rövidítése is hozzájárul a rugalmasság növekedéséhez. Az előadás végén pedig szóba kerültek az Agrregátorok mint új piaci szereplők, amelyek megjelenése segíti kisebb termelői, fogyasztói és tárolói entitások piacra lépését.

#### **Baranyay Dávid (MVM Partner Zrt.)**

Baranyay Dávid az MVM Partner Zrt. kvótakereskedelmi menedzserre előadásában a hangsúlyt az EUA árának folyamatos emelkedése kapta (3 év alatt közel 500%). Bemutatta, milyen nemzetközi politikai és szakpolitikai döntések, üzleti folyamatok vezettek ehhez a meredek emelkedéshez, és a korábban stabilnak tekintett piac volatilitásának ugrásszerű emelkedéséhez. Az előadásának végén pedig az energiatermelők számára adott javaslatokat arra, hogy bár az áremelkedésből fakadó költségnövekedés nem kerülhető el, de átgondolt beszerzési stratégiával és szakember igénybevételével legalább a kockázatok mérsékelhetőek.

#### **Délutáni előadások rövid összefoglalója:**

Míg a délelőtt a kereskedők, szakmai szervezetek és jogalkotók előadásait hallgathattuk meg a jelenlegi helyzetről, a várható trendekről, támogatási lehetőségekről, délután az MKET tagvállalatainak képviselői mutatták be, hogy az elmúlt időszakban a fent elővezetett kihívásokra milyen fejlesztésekkel, beruházásokkal válaszolt a szakma.

#### **Joska Marek (Innogy)**

Joska Marek az MVM csoporthoz tartozó cseh Innogy üzletfejlesztési vezetője bemutatta, hogy jelenleg milyen módon ösztönzik Csehországban a beruházókat nagy hatásfokú kapcsolt energiatermelő rendszerek megvalósítására és üzemeltetésére. Az elsődleges cél a decentralizált energiatermelés elterjedése illetve a primer energia megtakarítás. A támogatás a megtermelt villamos energia után jár úgynevezett „Green bonus” formájában a beépített kapacitásokkal fordított arányban. A támogatás mértéke 2 EUR/MWh és 46 EUR/MWh közötti. Ez a támogatási rendszer azért is figyelemre méltó, mert egy olyan országban valósul meg ami szintén az Európai Unió tagja!

#### **Kókai Péter (Mifü-MKCE)**

Kókai Péter az MVM-MIFÜ Kft. ügyvezető igazgatója előadásában a Miskolci Kombinált ciklusú erőmű újraindításának tapasztalatait mutatta be előadásában. Az erőmű 2007.-ben indult a KÁT rendszerben, majd 2013.-ban az üzleti környezet megváltozása és a helyi geotermikus hőforrások előtérbe kerülése miatt került leállításra és konzerválásra. Az utóbbi években azonban a villamos energia piac átalakult, így az MVM-nek lehetősége nyílt ezen jó állapotú eszközöket újra használatba venni. 2020-ban első fázisként egy emelt-szintű karbantartáson és kisebb módosításon esett át az erőmű, így biztosítva a jogszabályi megfelelést. Ezzel párhuzamosan már elkészült az a fejlesztési koncepció amely a jelenlegi erőművet alkalmassá teszi az új piaci kihívásoknak megfelelő rugalmas működésre, részben függetlenné téve a hőpiac szezonálisától. Ennek része a hőoldal átalakítása és egy Bypass ág beépítése a füstgáz rendszerbe a gázturbina után. A teljes beruházás megvalósulását követően egy olyan, rugalmasan üzemelő, korszerű kapcsolt energiatermelő egység jön létre, amely hosszú távon is a hazai VER rendelkezésére áll.

**Luczay Péter (ALTEO)**

Luczay Péter az Alteo Nyrt. vezérigazgató-helyettese az időjárás-függő termelő egységek menetrendezési bizonytalanságából/ponatlanságából adódó rendszeranomáliákat mutatta be előadásában. Különösen az elmúlt egy évben ezen anomáliák az egyéb rendszer bizonytalanságokra szuperponálódva okoztak a rendszerirányító számára fokozott kihívásokat. Mivel várhatóan a megújulók részaránya tovább nő, az ellátásbiztonság alapja a továbbiakban is a rugalmas CHP kapacitások rendszerben tartása valamint a megújuló szabályozási képességének kiaknázása lehet.

**Nemes Tamás (E.ON)**

Nemes Tamás az E.ON Energiatermelő Kft. részéről kicsit más megvilágítást adott előadásában a jelenlegi megnövekedett rendszerszabályozási igények biztosítására. A hagyományos megközelítésben a termelők „mennek” a fogyasztók ingadozásai után, azonban, különös tekintettel az informatika fejlődésére, célszerű a fogyasztói oldal ingadozásait is csökkenteni. Az E.ON elindított egy termékfejlesztést, amelynek kulcsa, hogy az adott kiválasztott fogyasztókat is valamilyen módon érdekeltté tegye szükség esetén fogyasztás befolyásolásban. Az innováció csak akkor elfogadható az ügyfél részéről, ha az a CORE business-t nem befolyásolja, illetve kellő mértékű a motiváció a szabályozás elmentételezésére. A termék végső kialakításánál az ügyfelek is bevonásra kerültek, így nem egy elméleti piacidegen termék lesz a végeredmény. A fogyasztókat az Aggregátorok (VPP) alá kerülnének beintegrálásra.

**Hans Korteweg (COGEN EUROPE)**

Hans Korteweg, a COGEN Europe ügyvezetője is elfogadta felkérésünket és előadásával hozzájárult a konferenciánk színvonalának emeléséhez. A bemutató az EU 2030-as és 2050-es klímacéljait helyezte középpontba a kapcsolt energiatermelés szemszögéből. A célok elérésének két kulcsa az energiahatékonyság illetve az energiarendszerek integrációja. Mindkét esetben a kapcsolt energiatermelés fontos szerephez jut, de hosszú távon csak innovációval (további hatékonyságnövelés, új-zöld tüzelőanyagok, decentralizált energiatermelés/energiaközösségek) lehet a kogeneráció pozícióját erősíteni.

**Adam Rajewski (Wartsila)**

Adam Rajewski a Wartsila Energy fejlesztési menedzsere bemutatta, milyen fejlesztésekkel készülnek az energia termelő berendezések gyártói a következő évtizedek klímapolitikai kihívásaira. A megújuló energiatermelés (nap, szél) nagymértékű elterjedésével a legnagyobb probléma, hogy bár elég energia áll rendelkezésre de nem a fogyasztók igényeinek megfelelő ütemezésben. Erre adhatnak megoldást a tárolási technológiák melyek közül a hagyományos akkumulátorok a legelterjedtebbek, de több fejlesztés folyik olyan folyamatok kidolgozására, amelyek a villamos energiát valamilyen tároló közeggé alakítják (pl. Hidrogén) amit a fogyasztási igények megjelenésével tüzelőanyag cellákban és/vagy hagyományos- illetve kapcsolt energiatermelő egységekben lehet visszaalakítani villamos energiává. Így megmarad a villamos energia rendszer rugalmassága is, és nem nő a CO<sub>2</sub> kibocsátás. De a Hidrogén mellett a Methanol, az Ammónia illetve a szintetikus előállított Metán is alkalmas lehet alternatívának a „Power to X” technológiánál.

**Balogh Zoltán (MKET)**

Balogh Zoltán az MKET operatív alelnöke köszönetet mondott az előadóknak, a technikai háttérrel biztosító kollégáknak, az MKET csapatának és természetesen a támogatóknak is.

MKET elnökségének és munkatársainak legfontosabb célja minél aktívabban részt venni – együttműködve jogalkotókkal, stratégiai tervezőkkel, döntéshozókkal, országgyűlési szakbizottságokkal – a jövő energetikájának megalkotásában, amelyben a kapcsolt energiatermelés fontos és aktív szereppel kell hogy bírjon. Ezen célt azonban egymagunkban nem tudjuk elérni, ezért fontos egyéb szakmai szövetségekkel (MatáSzSz, MEKSZ) való stratégiai együttműködés erősítése is!

A mai konferencia előadásai is alátámasztják, hogy rövidtávon az ellátásbiztonság, míg közép- és hosszútávon az imponáns kibocsátáscsökkentési célok nem képzelhetők el a hatékony kapcsolt energiatermelés nélkül. Természetesen ezen kihívásokra a jelenlegi rendszerek csak folyamatos fejlesztésekkel, innovációval tudnak és fognak megfelelni, melyhez a tudás és tapasztalat áramlása, megosztása a kulcs!

Az alelnök zárszóként megköszönte előadóinknak, támogatóinknak, a résztvevőknek a bizalmat és hogy velünk tartottak ezen a különleges napon. A konferencia az előzetes adatok alapján sikeresnek tekinthető mivel az előadásokat átlagosan 60-80 fő hallgatta egyidőben. Természetesen az elhangzott előadások az MKET honlapján később is megtekinthetők!

Találkozunk 2022.-ben a jubileumi 25. konferencián, immár személyesen!

**KLENEN '22****2022. március 9 – 10.****SÍÓFOK****Prémium Hotel Panoráma****Az előzetes program elérhető****[www.klenen.eu](http://www.klenen.eu)****A konferencia kiemelt témája:****Energiahatékonysági  
Kötelezettségi Rendszer**



# ETE VIII. Villamos Energia Konferencia

## ELŐZETES PROGRAM

### 2022. FEBRUÁR 17. CSÜTÖRTÖK

- 09.00–10.00 **Érkezés, regisztráció**
- 10.00–12.00 **Bevezető plenáris ülés**  
Megnyitó Bakács István elnök, ETE  
**A hazai energetika aktuális kérdései, az „Irány 55” EU csomaggal kapcsolatos hazai javaslatok** – Steiner Attila államtitkár ITM – felkérve  
**A Paks II. atomerőmű beruházásának helyzete** – Süli János miniszter – felkérve  
**Az MVM erőműépítési tervei** - Dr. Kiss Csaba vezérigazgató-helyettes, MVM Energetika Zrt.
- 12.00–13.30 *Ebédszünet*
- 13.30- 15.00 **A hazai erőműépítés szekció**  
Vezeti: Briglovics Gábor vezérigazgató, Alpiq Csepel Erőmű Kft.  
**Áttekintő előadás a hazai erőműépítési igényekről és lehetőségekről.**  
**A Mátrai Erőmű átalakulása. Vitafórum**
- 15.00-15.30 *Kávészünet*
- 15.30–17.00 **Európai és hazai nagykereskedelmi szekció**  
Vezeti: Felsmann Balázs, Corvinus Egyetem, REKK  
**Előadások a hazai és európai árampiac helyzetéről, a 2021-22 őszi téli árampiaci helyzetről. Vitafórum**
- 17.00-18.30 **Energiatárolás szekció**  
Vezeti: Prof. Imre Attila, BME  
**Áttekintő előadás, akkumulátoros helyzetkép és más tárolási projektek bemutatása**  
**Vitafórum**
- 19.30– **Vacsora**

### 2022. FEBRUÁR 18. PÉNTEK

- 09.00–11.00 **Villamos energia hálózatok és dekarbonizációs kihívások szekció**  
Vezeti: Hlavay Richárd kommunikációs vezető, MAVIR  
**Előadások a hazai és nemzetközi átviteli hálózatok és az elosztóhálózatok előtti kihívásokról, a rugalmassági szolgáltatások beszerzéséről. Vitafórum**
- 11.00–11.30 *Kávészünet*
- 11.30–13.30 **Energiaszolgáltatás szekció**  
Vezeti: Jamniczky Zsolt. Igazgatósági tag, EON Hungária Zrt.  
**Előadások az energiaszolgáltatás új kihívásairól, innováció, elektromobilitás. Vitafórum**
- 13.30–14.30 *Ebéd*

**A RÉSZLETES PROGRAM JANUÁRBAN VÁRHATÓ**



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

# ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Weöres Sándor

## Szép a fenyő

Szép a fenyő télen-nyáron,  
sose lepi dermedt álom:  
míg az ágán jég szikrázik,  
üde zöldje csak pompázik.

Nagykarácsony immár eljő,  
érkezik az újesztendő.  
Míg a mező dermed, fázik,  
a zöld fenyves csak pompázik.