

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

60. évfolyam 2019. 1-2. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Főszerkesztő:
Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:
Dr. Bihari Péter

Szerkesztőség vezető:
Jaksa Bianka

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

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

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

Felelős kiadó:
Bakács István, az ETE elnöke

A szerkesztőség címe:
BME Energetikai Gépek és
Rendszerek Tanszék
1111 Budapest, Műgyetem rkp. 3.
D épület 208 sz.
Telefon: +36 1 463 2613.
Telefax: +36 1 353 3894.

E-mail: enga@ete-net.hu

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

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

Nyomdai munkák:
EFO Nyomda
www.efonyomda.hu

Lapunkat rendszeresen
szemlézi a megújult



www.observer.hu

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Klenen * Klenen * Klenen

Molnár László

A megújuló energiaforrások
alkalmazásának hatásai az
EU villamosenergia-rendszerre

A megújuló energiaforrások

alkalmazásának hatásai az

EU villamosenergia-rendszerre

Wirkungen der Verwendung von Erneuerbaren

Energiequellen auf das Stromnetz der EU

Molnár Szabolcs

Energetikai fenntartható fejlődés

Sustainable energy development

Energetische nachhaltige Entwicklung

Varga Zoltán

Közösségi tervezés szerepe az energia
hatékony beruházásokban

The role of the community planning in the

efficient energy investment

Die Rolle der Gemeinschaftsplanung in den

energieeffizienten Investitionen

Novák Dániel

Sok kicsi, sokra megy –

szemléletformálási javaslatok

Many little makes a mickle –

Suggestions to raise employee awareness

Viele Wenig machen ein Viel –

Vorschläge für die Bewusstseinsbildung

Mannheim Viktória, Siménfalvi Zoltán

Betonelemek életciklus elemzése

a környezettudatosság és

az energiahatékonyság jegyében

Life Cycle Assessment of concrete elements

based on the environmental awareness and

energy efficiency

Ökobilanz der Betonelemente unter

Berücksichtigung des Umweltbewusstseins

und der Energieeffizienz

Zsebik Albin

Várható változások

az MSZ EN ISO 50001-ben

Expected changes in MSZ EN ISO 50001

Erwartete Änderungen in MSZ EN ISO 50001

Tudomány * Science * Wissenschaft

Tóth László, Madár Viktor, Bácskai István

Pirólízis berendezés fejlesztését

megelőző vizsgálatok

Pre-investigations of the development of

pyrolyzer

Verhergehende Untersuchungen der

Entwicklung eines Pirolysengerätes

Györke Gábor, Groniewsky Axel, Imre Attila

Egykomponensű munkaközegek

újszerű osztályozása ORC

technológiához

New classification of the single component

working fluids for ORC technology

Neue Klassifizierung von Einkomponenten-

Arbeitsmedien für die ORC-Technologie

Klímváltozás * Climate Change *

Klimawandel

Reményi Károly

Mesterséges vulkánhatással a globális

hőmérséklet csökkentése?

Could be decreased the global temperature

by the artificial volcanic impact?

Mit künstlichem Vulkanausbruch für

die globale Temperatursenkung?

Földgáz * Natural gas * Erdgas

Szilágyi Zsombor

A földgáz ereje

The force of natural gas

Die Kraft des Erdgases

Virtuális Erőmű * Virtual Power Plant *

Virtuelles Kraftwerk

Szalai Szabolcs

Távhőrendszeri keringtető szivattyú csere

The change of district heating system's pump

Austausch der Umwälzpumpe in einem

Fernwärmenetz

Szakkollégiumi hírek * News from the

Student Association of Energy *

Nachrichten aus dem Fachkolleg

Energetikai Tanulmányi verseny

Competition in energy studies

Studienwettbewerb in Energietechnik

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 írójuk felelős.

KLENEN '19**2019. március 7-8.****KLENEN '20****2020. március 11-12.****Tisztelt Olvasó!**

1999. június 2-4-én Egerben „Energiahatékonyság, Energiapiac és környezetvédelem az ezredfordulón” címmel nemzetközi konferenciaként rendeztük meg a KLENEN jogelődjét. A konferencia színhelyéül tudatosan választottuk a festői környezetben fekvő várost, hogy annak szépségét a külföldi vendégekkel megismertessük.

Ezt a szemléletet tartottuk a következő konferenciák helyének kiválasztásánál is. Így került a következő, „Energiahatékonyság, energiapiac és környezetvédelem az új évezred kezdetén” címmel, 2001. június 13-15-én Sopronban megrendezésre.

A konferencia sorozat 2003-ban kapta a „Klímaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság” nevet és a konferenciát június 4-6-án már ezzel a címmel szerveztük. A név választásakor a fenntartható fejlődés fontossága mellett arra gondoltuk, hogy a természet egyensúlyának megőrzésében fontos szerepe van az energiatudatosságnak és a hatékony energiagazdálkodásnak.

A 2005. június 8-10-én Visegrádon megrendezett konferencián a cím mellé bevezettük az azóta is használt *„Dolgozzunk együtt a természet egyensúlyának megőrzésén”* mottót.

A konferenciákon nagy számban vettek rész előadó, érdeklődő és szép emlékekkel hazatérő külföldi vendégek. A szervező bizottság azonban – elsősorban gazdasági okokból – úgy döntött, hogy ideiglenesen megszünteti nemzetközi jellegét és a Virtuális Erőmű program Energiahatékonysági Kiválósági Pályázatához kapcsolódva 2012-től áttértünk az évenkénti szervezésre, a konferencia időpontját az energiatakarékossági világnapon (március 6.) történő díjátadáshoz kapcsoltuk.

A tapasztalatcsere fontosságát hangsúlyozva ettől kezdve használjuk a konferencia kiegészített mottóját, *„Osszuk meg tapasztalatainkat, dolgozzunk együtt a természet egyensúlyának megőrzéséért”*, a KLENEN rövidítését és hívjuk fel a figyelmet arra, hogy *„A hatékony energiagazdálkodás mindnyájunk érdeke és kötelessége”*.

Az energiahatékonyságról szóló 2015. évi LVII. törvény és a hozzá kapcsolódó rendeletek által már jogszabályokkal és szakpolitikai intézkedésekkel is ösztönzött az energiavesztés-feltárás. A törvény 2016. évi módosítása egy meghatározott mértékű energiaszámítás elérése érdekében vállalatok számára kötelezővé teszi az energetikai szakreferensek igénybevételét. Ez is hozzájárult ahhoz, hogy a konferencián az auditori tapasztalatok mellett figyelmet fordítsunk a szakreferensi feladatok ellátására is.

Az idei konferencián az energetikai auditori és szakreferensi feladatokkal kapcsolatos tapasztalatok cseréje mellett kiemelt figyelmet fordítunk az ISO 50001 szabvány módosításából adódó változásokra és arra, hogy 2019. december 5-e a következő auditok leadásának határideje.

Plenáris előadás keretében kapunk összefoglalást hazánk energiapolitikai céljairól és tervezett szakpolitikai intézkedéseiről, az energetikai auditálás tapasztalatairól és eredményeiről – kiemelve, hogy mire figyeljünk a 2019. évi energetikai auditok készítésénél –, valamint a 2018. október 2-án alakult Energetikai Innovációs Tanács, Energiahatékonysági munkacsoportjának tevékenységéről.

Az energiavesztés-feltárás és az ISO 50001 EU alkalmazási tapasztalatairól, a szabvány 2018. évi módosításában is részt vevő, auditkészítésben nagy tapasztalattal rendelkező ír kolléga tart előadást.

Az energiahatékonyságról szóló 2015. évi LVII. törvény 13. §-a rendelkezik az energetikai audit minimális tartalmi követelményeiről. Meghatározza többek között, hogy „az energetikai auditnak ki kell terjednie a fejlettebb üzemeltetési eljárások és esetleges új berendezések bemutatására”. **Erre tekintettel több cég élt a lehetőséggel, hogy a konferencián bemutassa az energiahatékonyság növelését segítő termékeit és eszközeit.**

Az elmúlt évek során azt tapasztaltuk, hogy a konferencián előadó egyetemistáknak a jelenlevő cégek állást ajánlottak. **Ebből kiindulva szerveztünk önálló szekciót a fiatal energetikusok bemutatkozására.**

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a konferencia előadásai, a tapasztalatcserek, valamint az energiagazdálkodás hatékonyságának növelését eredményező módszerek és technikák bemutatása hozzájárul a résztvevők ismereteinek bővítéséhez és segítik mindennapi munkájuk végzésében.

Az Energiagazdálkodás szakfolyóirat médiapartnerként támogatja a konferencia szervezését. Azokat az előadásokat, amelyeket előadók cikk formában is elkészítenek, közzé tesszük a jelenlegi, vagy következő lapszámainkban.

Az évente megrendezésre kerülő KLENEN konferenciákra hívjuk és várjuk azokat a szakembereket, akik szívesen megosztják tapasztalataikat az érdeklődőkkel, vagy érdeklődnek mások tapasztalatai iránt.

Tisztelettel meghívjuk és várjuk olvasóinkat is a jövő évi konferenciára!

Kérjük, jegyezzék elő naptárunkba, hogy

2020. március 11-12. KLENEN '20.

és kövessék a konferenciához tartozó eseményeket a www.klenen.eu honlapon, vagy regisztráljanak a honlapon, hogy a konferenciáról, a hozzá kapcsolódó eseményekről rendszeresen tájékoztassuk Önöket.

Jelentkezzenek előadással is a konferenciára. **Az előadások címének és rövid összefoglalójának beküldési (a honlapra feltöltési) határideje 2019. október 15.**

KLENEN Szervező Bizottsága

A megújuló energiaforrások alkalmazásának hatásai az EU villamosenergia-rendszerre¹

Dr. Molnár László

okl. gépészmérnök, lmolnar@t-online.hu

A klímaváltozás elleni harc egyik eleme a CO₂ emissziók csökkentése, melyet az EU a megújuló gyors fejlesztések révén kíván elérni. A cikkben elemezzük a különböző hagyományos (szén, földgáz, atom) és a megújuló energiák (szél, nap) költségeit. Megállapítjuk, hogy a megújuló energiák drágábbak a hagyományos technológiáknál. A megújuló energiák hálózati költségei akár 10-20-szorosak lehetnek. A megújuló költségei a növekvő penetrációval gyorsan nőnek, ugyanakkor a megoldatlan energiatárolás miatt az ellátásbiztonság romlik.

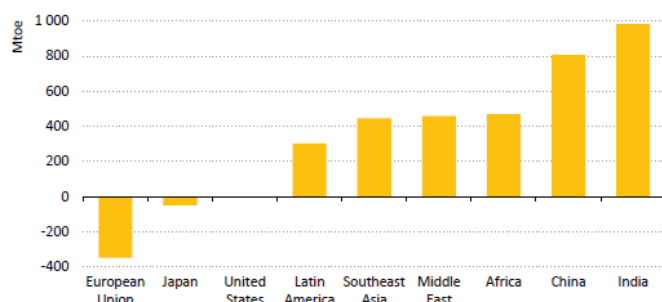
*

In the fight against the climate change an important element is the reduction of the CO₂ emissions that the EU would like to achieve by rapid developments of the renewable. In the article the traditional (coal, natural gas, atom) and the renewable energy (wind, solar) technologies are compared, and it is pointed out that production of the renewable energies is much more expensive than that of the traditional ones. The grid level costs of the renewable energies can be 10-20 times higher. With the increasing penetration of the renewable energies the costs are rapidly growing and the security of supply is diminishing.

Világméretben rengeteg rossz hír érkezik az időjárásról, szélsőséges meleg, szárazság, viharok és hurrikánok, olvadó gleccserek és olvadó északi és déli sarki jég, míg másutt extrém alacsony hőmérsékletek, árvizek. A globális felmelegedés és a klímaváltozás, az egyre több extrém időjárási jelenség immár a hétköznapiak velejárója lett, és az átlagember is láthatja, hogy hová vezet, ha a felmelegedés tovább folytatódik.

Sok tudományos tanulmány elemzi a klímaváltozás kiváltó okait. A „mainstream” (legelterjedtebb) magyarázat szerint az üvegházhatású gázok, és közülük a CO₂ lett a fő bűnbak, melynek csökkentése a legfontosabb cél. Ezen belül a villamosenergia-szektor CO₂ kibocsátásának csökkentésére születtek a legszigorúbb tervek.

Ezen CO₂ csökkentési célok legteljesebb végrehajtója az EU, mely jóval szigorúbb célokat tűz ki, mint a fejlett világ más államai, az USA, Japán, Korea, Ausztrália stb.



1. ábra. A primer energia fogyasztás alakulása az Új Politika Szenárió szerint, 2017-2040, Mtoe. (forrás: OECD IEA WEO 2017)

A világ egy nagy változás tanúja, ahol a fogyasztás a fejlett országoktól áttevődik a fejlődőkhöz. Indiában nő leggyorsabban az energiafogyasztás. Így aztán az EU-ban gyorsan csökken, az USA-ban, Japánban pedig stagnál az energiafogyasztás. Ezalatt a fejlődő országokban rendkívül gyorsan nő az energiafogyasztás, a növekvő lakosság, a fejlődő ipar és közlekedés továbbá a fokozódó jólét miatt.

De az EU szuper-ambiciózus klímavédelmi terveit globális méretekben két okból nem lehet végrehajtani:

1. Demográfiai okok miatt: a 20. század elején csak egy milliárd ember lakott a Földön, míg mára már közel 8 milliárd. Minden újabb ember egy újabb fogyasztó, és az energetika jövőbeni alakulását nézve, egy újabb villamosenergia fogyasztó.
2. Jóléti okok miatt: A sokat szidott globalizáció a sikeres, fejlődő országokban (Kína, India, Brazília stb.) rendkívüli élet-színvonal emelkedést hozott. A gazdagodó országok lakosai egyre nagyobb, jól fűtött és klímatisztított lakásokban szeretnének lakni, egyre több háztartási gépet és telekommunikációs eszközt szeretnének használni. De a személyautók száma is gyorsan nő. Ezek a pozitív folyamatok több mint 3 milliárd embert érintenek, és ezeket a gazdagodási folyamatokat nem lehet megállítani.

Az egyre növekvő globális felmelegedés csökkentésére, megállítására készült 3 évvel ezelőtt a Párizsi Klímacsúcs egy megállapodás, melyet 190 ország írt alá. A közelmúltban elkészült áttekintés szerint a gazdag országok nagyvonalú CO₂ csökkentési vállalásokat tettek, de ez kevésnek bizonyult a CO₂ kibocsátás megállítására.

A Párizsi Klímacsúcs célkitűzései

- A Párizsi Klímacsúcson célul tűzték ki a globális átlagos hőmérséklet növekedésének 2 fok alatt tartását.
- A jelenlegi emisszió intenzitás 570 gCO₂/kWh, a cél 50 gCO₂/kWh.
- A villamos energia a globális CO₂ emissziók 40%-áért felelős, és fontos szerepet fog játszani a jövőben is. A célok szerint a villamosenergia-emissziókat globálisan 73 %-kal, az OECD államokban 85%-kal kell csökkenteni.

A dekarbonizációs célok elérésére három főbb megoldás létezik:

1. Az energiahatékonyság javítása, az energiatakarékosság fokozása;
2. Az energiahordozó csere (pl. szén helyett földgáz alkalmazása);
3. A megújuló energiák fejlesztése.

Ezeket a környezetvédelmi technikákat megfelelő tempóban és arányban kell bevezetni. Vitathatatlanul leghatékonyabb és legolcsóbb az energiahatékonyság javítása, míg a különféle megújuló energiák alkalmazása a legdrágább, mivel bevezetésük rengeteg járulékos költséggel jár. A villamosenergia-rendszer költségei gyorsan

¹ A cikk a KLENN '19 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

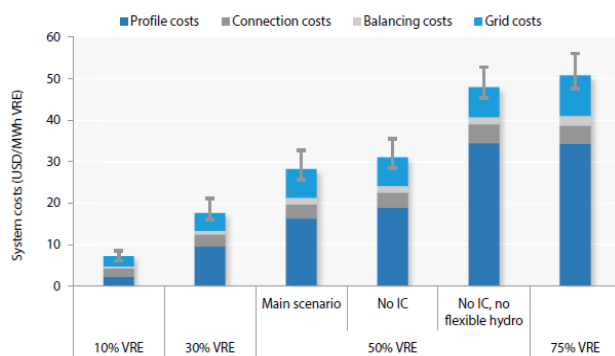
san nőnek az időjárás-függő megújulók (szél és nap) növekvő bevezetésével.

A villamos energia teljes költségeit mutatja be a 2. ábra.



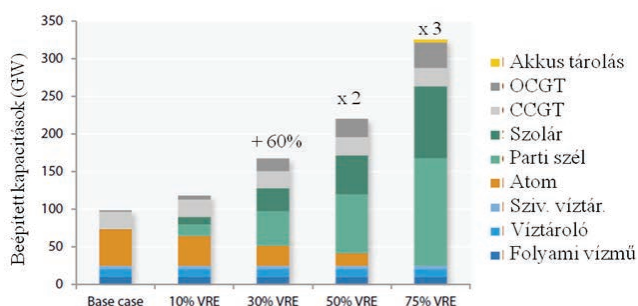
2. ábra. A villamos energia teljes költségei
(forrás: OECD NEA: The costs of decarbonisation)

Az időjárásfüggő megújuló energiák (szél, nap, a következőkben VRE) integrálásával gyorsan nőnek a költségek. Ezt mutatja be a 3. ábra.



3. ábra. Rendszer költségek a megújuló energiák részarányának függvényében, USD/MWh VRE
(forrás: OECD NEA: The costs of decarbonisation)

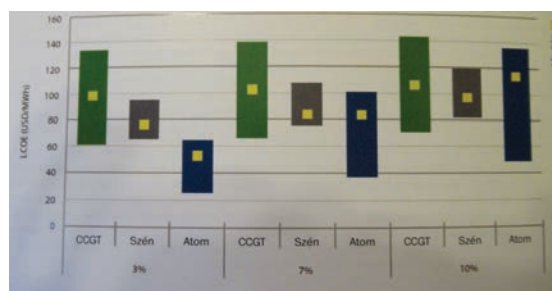
A rendszer költségek 4 elemből állnak: Típus, csatlakoztatás, kiegyenlítő energia és hálózati költségéből. A rendszer költségek széles skálán növekednek a VRE (szél, nap) részaránya függvényében. 10% VRE arány esetén a rendszer költségek 10 USD/MWh alatt vannak, míg 75% VRE esetén meghaladják az 50 USD/MWh-s értéket. Figyelemre méltó, hogy a rendszer költségek már 50% VRE arány esetén meghaladja a 30 USD/MWh-t. Ezek a költség adatok erősen szórhatnak a rendszer rugalmasságával, azaz a meglévő hálózati kapcsolatok és rugalmas vízenergia források függvényében.



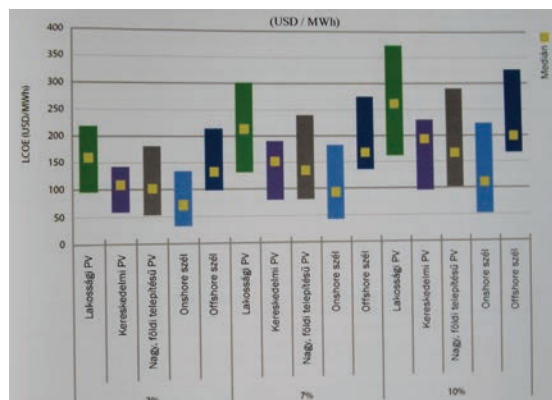
4. ábra. A szükséges kapacitások mértéke az időjárás-függő megújuló energiák (VRE, szél-nap) függvényében
(Forrás: OECD NEA: The costs of decarbonisation)

Az ábrán a nulla VRE részarányról 75% részarányra növekszik a szél-nap kapacitás részarány. A szél-nap kapacitások alacsony kihasználtsága (német adatok szerint szélnél 20%-os, napnál 10%-os) miatt a szükséges kapacitás 30%-os VRE-nél 60%-kal, 50%-os VRE-nél kétszeresére, 75%-os VRE-nél 3-szorosára nő, azonos mennyiségű villamos energia megtermeléséhez. Természetesen ez is hozzájárul a megújulók rendszerszintű magas költségeihez. Az ábra azt is bemutatja, hogy a magas kapacitás kihasználású (> 90%) atomerőművek leállítása különlegesen megemeli a szükséges kapacitás-igényt.

Azaz a növekvő VRE és a csökkenő atomenergia aránnyal exponenciálisan nő a kapacitás igény. A 75%-os VRE arány szintjén már szükség van energia tárolóra, pl. akkumulátorra is, mely ugyancsak extrém drága.



5. ábra. Erőművi költségek különböző hagyományos technológiák (CCGT, szén, atom) esetén, USD/MWh.
(forrás: OECD NEA: The costs of decarbonisation, Levelised cost of electricity, a sárga négyzet a medián értéket mutatja)

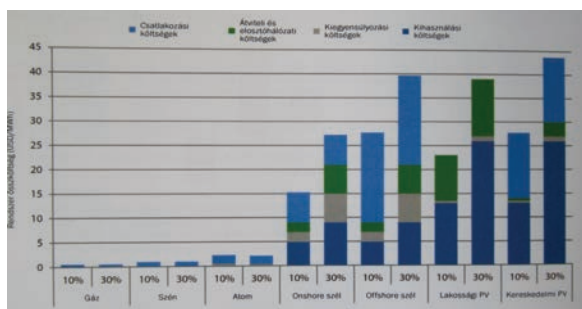


6. ábra. Erőművi költségek különböző megújuló energia technológiák esetén, USD/MWh.
(forrás: OECD NEA: The costs of decarbonisation)

Az 5. ábra és a 6. ábra 3%, 7% és 10% tőkeköltségek mellett mutatja be az indítható (szén, gáz, atom) és az időjárás-függő (szél, nap) költségeit, az indítható erőművek esetén 85% kapacitás kihasználtság és 30 USD/CO₂ tonna széndioxid ár mellett. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a CO₂ kibocsátás miatt bekövetkezett klímaváltozás társadalmi költségeit – legalább is részben – fedezi.

3%-os tőkeköltség esetén a teljes költség az atomerőműveknél a legolcsóbb kb. 50 USD/MWh medián értékkel, de 10%-os tőkeköltségnél ez az érték már 110 USD/MWh-ra emelkedik. A megújuló energiák hasonló trend érvényesül, legolcsóbb a szárazföldi szél 70-110 USD/MWh-s medián költséggel, míg legdrágább a lakossági PV 260 USD/MWh-s medián értékkel.

Különösen érdekes összevetni a gáz-szén-atom csoport hálózati költségeit a szél és szolár PV technikák költségeivel, lásd 7. ábra.



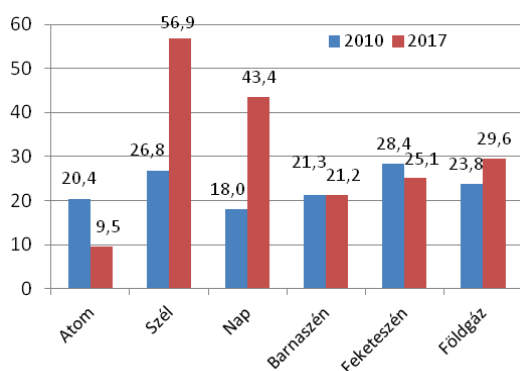
7. ábra. Különböző erőművi technológiák hálózati rendszerköltségei a VRE (időjárás-függő megújuló) termelés 10% és 30% részaránya esetén, USD/MWh.
(forrás: OECD NEA: The costs of decarbonisation)

A VRE integrálásával kapcsolatos hálózati rendszerköltségek nagyok, és a megtermelt megújuló bázisú villamos energia részarányával – az ún. penetrációval – fokozódó mértékben növekednek. Összehasonlításban, a hagyományos (indítható) erőművi technológiák (szén, gáz, atom, vízenergia) hálózati költségei legalább egy nagyságrenddel, azaz akár több tízszeresen kisebbek.

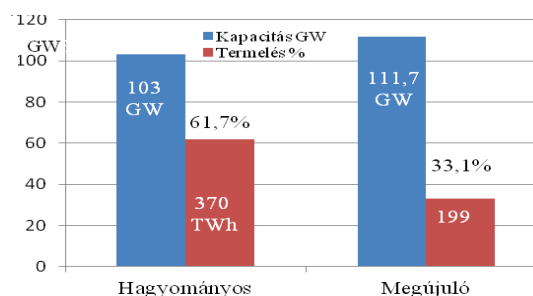
Összefoglalás: az indítható erőművi technológiák (szén, gáz, atom, vízenergia) erőművi költségei a mai tőkeköltséggel (4-5%) számolva olcsóbbak, mint a legtöbb megújuló energia. Talán csak a szárazföldi szél rendelkezik némi versenyképességgel (lásd 5. és 6. ábra). A hálózati költségek terén azonban a megújuló költségei akár 10-20-szor is magasabbak (lásd 7. ábra). Így a megújulók nem versenyképesek, hosszabb távon is jelentős támogatást igényelnek.

Az EU villamosenergia-ellátásának jövője

Az EU és azon belül Németország energiafogyasztása a következő évtizedekben csökken, de a villamosenergia-fogyasztás nőni fog. Az EU-ban, a célkitűzéseknek megfelelően a megújulók részaránya gyorsan nő. A német energiapolitika, az Energiewende különösen erős hangsúlyt helyez az áramtermelés terén a szél és napenergiára, melyek termelési képességei a napszaktól, évszaktól és az időjárás-tól függenek. Mint már említettük, a szél és napenergiás technológiák kapacitás kihasználása alacsony, a szélnél 20%-os, a napnál 10% (német adatok alapján), azaz rendkívül nagy kapacitásokat kell kiépíteni. A német villamosenergia-rendszerben a szél és napenergia kapacitások már meghaladják 100 ezer MW-ot (a magyar terhelési csúcs 7 ezer MW alatt van), és még tovább nő (lásd 8. ábra). Azonban ez a hatalmas kapacitás erősen korlátozott áramtermelési képességgel rendelkezik, a szél és napenergiás kapacitások a német áramtermelés 6, illetve 17, összesen 23%-át adják (lásd 9. ábra).



8. ábra. Német VER kapacitások alakulása 2010-2017 között, GW



9. ábra. A német hagyományos és megújuló kapacitások és termelő-képességük, GW, 2017-ben
(forrás: Forrás: AGEBA - Energie Bilanzen)

A szél és napenergia továbbá a földgáz kapacitások gyorsan nőttek, míg a nukleáris és a feketeszen kapacitások csökkentek.

A német villamosenergia-fogyasztás 2017-ben 600 TWh volt.

A 9. ábra megmutatja, hogy a nagyobb megújuló kapacitások jóval kisebb, majdnem feleakkora áramtermelést produkáltak. Mint a 9. ábra mutatja, párhuzamos kapacitások alakultak ki, amely rendkívül nagy beruházási költséget okozott, továbbá a növekvő megújuló kapacitások egyre bonyolultabbá teszik a rendszer-szabályozást. A sok tízezer szélturbina és a milliós számú PV panel csatlakozási és elosztó hálózati költségei rendkívül megemelik a költségeket. A megoldatlan energiatárolás miatt a szél és napenergia hol túlermelési válságot idéz elő, hol pedig hiányt.

Német viszonyok között (északi fekvésű, borús, esős ország, limitált szélel) gyakran előáll az ún. dunkelflaute, azaz egyidejűleg van sötétség és szélcsend, ezt hívják németül Dunkelflaute-nak. Németországban kb. 600 ilyen óra van évente. Múlt télen januárban közel 3 hétig volt dunkelflaute Németországban, mikor is a 100 GW-os német szél-nap rendszer csak 1 GW-ot termelt a hálózatba. Éjjel még annyit sem. Mondani sem kell, milyen ellátásbiztonsági kihívást jelentenek ezek a helyzetek.

Orosz rulett a német energetikában

A német energiapolitika – az Energiewende – kidolgozó és irányító rendkívül optimizmussal állnak hozzá a megújuló energiák jelenlegi megoldatlan problémáihoz, és tovább folytatják az erőltetett ütemű szélturbina és szolárpanel telepítést. Ezzel párhuzamosan folytatódik az atomerőművek és a szén erőművek leállítása, de pótlásként épülnek földgáz erőművek. Továbbá feltételezik, hogy

- A megújuló energiák nem igényelnek többé beruházási és üzemeltetési támogatást, és a közeljövőben megoldódik;
- A gazdaságos, nagy volumenű energiatárolás;
- Az elektromos gépkocsi akkumulátorok gyors töltése és a 600 km feletti futásképesség;
- Az Északi Áramlat 2 gázvezeték megépül (a szabályozó energiához kell a földgáz);
- A nagy átviteli hálózatok mind megépülnek (pl. É-D);
- A szabályozó erőművek nyereségesen tudnak működni;
- A francia áram export Németországba folytatódik.

Mivel teljesen valószínűtlen, hogy ezek a feltételek mind teljesüljenek a közeljövőben, nyugodtan állíthatjuk, hogy a német energiapolitika vezetői orosz rulettet játszanak az atomerőművek leállításával és a megújuló energiák átgondolatlan tempójú fejlesztésével, mely exponenciális költség növekedéshez és az ellátásbiztonság hanyatlásához, áramszünetekhez vezet.

Megoldást csak az atomerőművek és a megújulók békés egymás mellett élése jelentene.

Energetikai fenntartható fejlődés¹

Molnár Szabolcs

főmérnök, szabolcs.molnar@poyry.com

Az emberiség történelme során, folyamatos technológiai fejlődés jellemezte a mindinkább koncentrált energiaforrásokkal való gazdálkodást. Az energiafogyasztás állandó növekedése miatt, napjainkban egyre fontosabbá válik a fenntartható fejlődés biztosítása. Az energetikát érintő kérdések rendszeresen szerepelnek a különböző médiumok hasábjain, melyek céljai lehetnek, hogy felhívják figyelmünket a fosszilis tüzelőanyagok kimerülésének veszélyére vagy, hogy megbélyegezzék a nem kívánt környezeti hatásokat. Valóban energetikai válság felé tartunk? Reálisak a hiány kockázataira vonatkozó félelmeink? Hogyan kell bánnunk az energiával és a fogyasztásával járó károsító hatásokkal? A válaszokon gondolkodnunk kell, és a feleleteinkbe a fenntartható fejlődés irányelvét be kell építsük.

*

During the history of the humanity, the management of concentrated energy sources was characterized by the continuous technological development. Due to the constant increase of energy consumption, nowadays the ensuring of sustainable development is starting to become more important. The issues regarding on energetics regularly appears in the different mediums which aimed for calling the attention to the danger of exhaustion of fossil fuels or condemning the undesired environmental effects. Are we really heading towards an energy crisis? Are our fears about the risk of shortage realistic? How should we treat with the energy, and the damaging effects of its consumption? The answers must be thought over well, and the principle of sustainable development has to be considered in our responses.

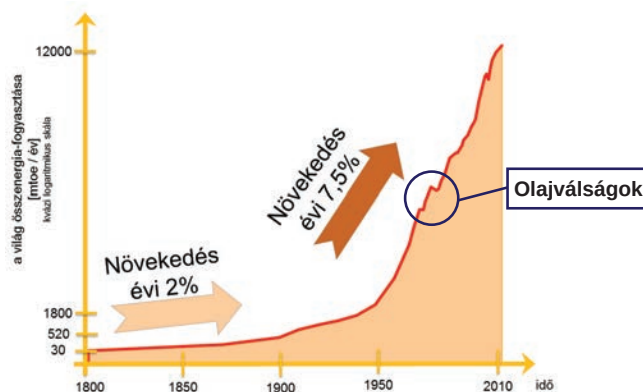
A fejlődés fenntarthatósága, avagy a fenntartható növekedés

José Mujica, Uruguay volt államelnöke tette fel azt a kérdést, egy fenntartható fejlődéssel foglalkozó konferencián, hogy „*mi történné ezzel a bolygóval, ha Indiában az emberek családonként ugyanannyi autóval rendelkeznének, mint a németek?*” [1] Államelnök úr feltett kérdéséből következik az a dilemma is, hogy meddig, illetve milyen mértékben tartható fent az emberiséget ez idáig jellemző fejlődés?

A történelmünket tekintve az energiafogyasztásunk növekedése, és növekedési üteme szinte felfoghatatlanná vált. Az első ipari forradalom – melyet energetikusként energetikai forradalomnak titulálók, hiszen a gőzgép által biztosított termo-mechanikai energia megjelenése indította el az ipar termelőképességének robbanásszerű fejlődését - előtti korszakban a világ éves energiafogyasztása 30 milliót tonna kőolaj-egyenérték volt. 1900-ban ez az érték 520 millió tonnára, az 1950-es évek elején pedig 1800 millió tonnára volt tehető [2].

A világ energiafogyasztása a XIX. század elejétől kezdve napjainkig a hatványozott értéknél is erősebben növekedett. Az energiaszükséglet növekedési üteme az 1800-as évek közepén évi 2%, az 1900-as évek második felében évi 7,5% volt. Az 1970-es években

lezajlott olajválságok rádőbbsítették a világot, hogy az ipari fejlődésnek gátat vethet az energiaforrások kimerülése (1. ábra).



1. ábra. A világ összenergia-fogyasztásának növekedése [3]

A növekedés mértékét az is meghatározza, hogy hány ember részesül azonos mértékben az energiaszükséglet fejlesztéséből. Mind a felhasználás, mind pedig a rendelkezésünkre álló erőforrások tekintetében lényeges különbségek mutatkoznak az egyes földrészek, nemzetek, sőt az egyes régiók között. Ha az egy főre jutó évi fogyasztást elemezzük, akkor a Közép-Afriai régióban 0,5 tonna kőolaj-egyenérték alatt van a nevezett érték. Ugyanezen paraméter Észak-Amerikában 10 000 tonna kőolaj-egyenérték felett van [4]. A geológiai körülmények miatt – elsősorban a fosszilis készletek – az energiahordozók is egyenlőtlenül oszlanak meg a Földön.

Napjainkban az előállított energia felhasználásunkat négy fogyasztási szegmensre oszthatjuk:

1. a mezőgazdaság energiaigénye,
2. ipari tevékenység,
3. háztartási (épületek) energia szükséglete,
4. szállítás energiafelhasználása.

Érdemes kiemelni azt is, hogy az egyes technikai megoldások is meghatározzák az energiafogyasztás mértékét. A fent említett szállítás példáját tekintve az egyes közlekedési formák energiafelhasználása a következő képpen alakul: Ha, egy fő 1000 km távolságra történő szállításához vonaton egy egységnyi energia szükséges, akkor személyautón ennek a 2,25-szerese, légi szállítóeszközön pedig közel 4,5-szeres energia szükséges [2].

Az energiafogyasztás tervezése

Hogy mekkora lesz az energiaszükségletünk a jövőben még tízhúsz éves időtávlatba is nagyon nehéz prognosztizálni. Az egyes előrejelzések elsősorban a népesség növekedésének ütemén, illetve a gazdasági fejlődés adott mértékét feltételező előrejelzéseken alapulnak.

Ki kell emelni azt is, hogy az egyes nemzetek gazdasági növekedését befolyásolja:

- az energiaellátottság mértéke,
- a potenciális készletek hozzáférhetősége, illetve műre-

¹ A cikk a KLENEN '19 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

valósága, azaz az adott telep gazdaságos bányászhatósága, kitermelhetősége,

- az esetleges nemzetközi feszültségek,
- a termelő és importáló államok díjszabása.

A korábban leírt gondolatmenet szerint az energia fogyasztás technikai oldalát tekintve az egyes országokban alkalmazott ipari technológiák, szállítási módok, mezőgazdasági gépesítés színvonala, az épületállomány energetikai minősége és a háztartások energiafelhasználásának összessége határozza meg az energetikai határfokot. Az energiafogyasztásunkat az egyéni fogyasztási szokások, a tudatos magatartásunk is nagy mértékben meghatározza.

A fenntartható fejlődés az energetikában

Az energetika tudományát nem lehet definíció szerűen meghatározni, illetve nem lehet fogalmi határok közé szorítani. Napjainkban az energetikáról a fenntartható fejlődés szemlélete nélkül nem lehet beszélni, ezért feltétlenül szükséges, hogy a fogalmát tisztázzuk.

Az ENSZ elhatározásából 1984-ben alakult meg a *Környezet és Fejlesztés Világbizottság*, melynek az volt a célja, hogy hosszú távú stratégiát dolgozzon ki annak érdekében, hogy a környezetvédelmet előtérbe helyezve a környezetkímélő fejlődést biztosítsa a világ minden szegletében. A bizottság célja volt, hogy a Föld védelmének és a környezetünk megóvása érdekében együttműködést dolgozzon ki a fejlődő országok és fejlett országok között.

A bizottság 1987-ben a *Közös jövőnk* címmel kiadta jelentését – amelyet Norvégia akkori miniszterelnöknőjéről Brundtland – jelentésnek neveztek el, melyben először fogalmazták meg a fenntartható fejlődés definícióját: „A fenntartható fejlődés, olyan fejlődés, amely biztosítani tudja a jelen szükségleteinek kielégítését anélkül, hogy veszélyeztetné a jövő generációk lehetőségeit saját szükségleteinek kielégítésére”.

Energetikai szempontból a fenntartható fejlődés definíciójának három kulcsfontosságú eleme van:

1. **A szükségletek:** Amelyeknek feltétlen elsődlegességet kell biztosítani. Tehát például a villamos energia termelés jövőjét tekintve az ellátásbiztonság – mint szükséglet – mindent megelőző követelmény kell legyen, hiszen rövidebb vagy hosszabb távú termelés kiesés (vagy más néven „blackout”) óriási károkat okozhat.
2. **A korlátozások:** A környezet képes legyen mind a jelen, mind a jövő igényeinek kielégítésére. Ezt egyrészt a technológiai fejlettség és a társadalom szervezete hívja életre, másrészt energetikai szemszögből, mind az energiahordozók szükségére, mind a fogyasztás racionalizálására hívja fel a figyelmet.
3. **Mennyiségi és minőségi kérdések:** Energetikai szempontból a fejlődő országoknál elsősorban a mennyiségi kérdések jelentik az alapproblémát, a fejletteknél viszont a minőségi kérdések állnak elsősorban a fejlődési kérdések középpontjában.

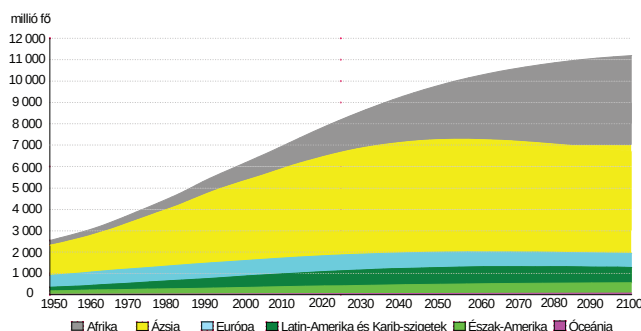
Az optimális energiagazdálkodás irányába

Az energiapolitika megválasztása nehéz feladat. Az ideális energiamix kialakítására a rendelkezésre álló készletek, a nemzetközi feszültségek, az ország technológiai színvonala mind befolyással vannak. Megállapíthatjuk, hogy mindenfajta energia felhasználásának környezeti vonatkozásai is vannak, hiszen a természeti környezetből vesszük az erőforrásainkat és az energiaátalakítás során

az ökoszisztémát terhelő anyagok a természeti környezetbe jutnak vissza.

Az eddig leírtak tükrében kijelenthetjük, hogy a gazdasági növekedés mindenképpen a fizikai növekedéshez köthető, ami környezeti és energetikai kérdéseket vet fel. Felmerülhet az a kérdés, hogy létezik-e fellendülés, illetve fejlődés, mely egyáltalán nem jár fizikai növekedéssel, de hosszú távon mégis nő a gazdasági teljesítmény?

A fenntartható fejlődés – energetikai és környezetvédelmi vonatkozásokban – bizonyos feltételek teljesülése esetén biztosítható [5]. Ilyen feltétel a *lakosság szám stagnálása*.



2. ábra. A világ népességének alakulása kontinensek szerint 1950-2100 [6]

A világ lakossága azonban – jelenleg – gyarapszik (2. ábra). Ha a növekedés ütemét kontinensekre lebontva vizsgáljuk (2. táblázat), akkor láthatjuk, hogy elsősorban a fejlődő térségekben várható a népesség számának drasztikus növekedése, ahol a mennyiségi energetikai kérdések kerülnek előtérbe.

1. táblázat. A világ népességének alakulása – szcenárió [mrd fő]

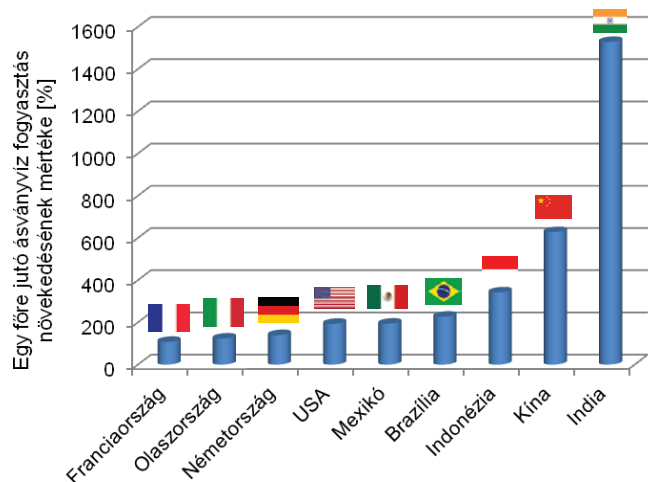
	Európa	Afrika	Ázsia	Amerika	Óceánia	összesen
2019	0,75	1,35	4,6	1	0,042	7,75
2050	0,715	2,53	5,25	1,2	0,057	9,8
2100	0,65	4,47	4,78	1,2	0,07	11,2

További feltétel, hogy az emberek alapvető szükségletei kielégítettek legyenek. Az ENSZ adatai szerint a világ jelenlegi több, mint 7,5 milliárdos lakosságából csak 4,5 milliárd embernek van lehetősége illemhelyhasználatra, miközben hatmilliárd mobiltelefon van a világban. Látható tehát, hogy a jelenleg még a világon az alapvető szükségletek sem kielégítettek.

A fenntarthatóság biztosításának feltétele továbbá, hogy a fizikai gazdaság környezetileg fenntartható legyen. A nevezett szempont megértésére nagyon szemléletes példa a palackozott ásványvíz esete. Az elfogyasztott ásványvíz mennyiség pontosan jellemzi a világ fejlődésének ütemét, mind területi, mind pedig mennyiségi szempontból. Jelenleg természetesen a gazdaságilag felzárkózni kívánó országok lakosai fogyasztják a kevesebb ásványvizet, míg a fejlettebb országokban vásárolják a fajlagosan több palackozott ásványvizet, azonban a fejlődés üteme minden országban óriási (3. ábra).

A világ palackozott ásványvíz fogyasztásának az alakulásából a fizikai gazdaság környezeti fenntarthatósága szempontjából fontos megállapítást tehetünk. Ha egy csapásra megváltoztatnák a palack visszaváltós rendszerünket és a mai naptól kezdve egyetlen egy

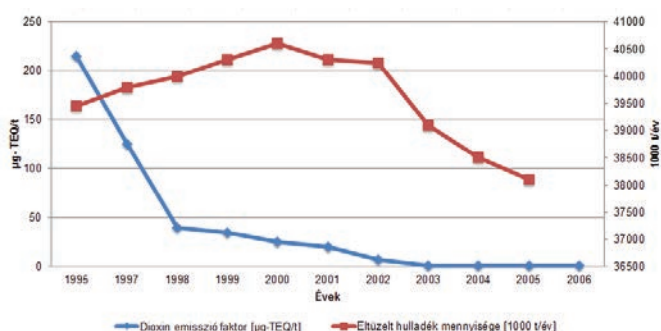
	Franciao.	Olaszo.	Németo.	USA	Mexikó	Brazília	Indonézia	Kína	India
2000 [l/fő/év]	126,2	160,4	101,8	61,6	124,3	39	20,2	4,7	2,1
2016 [l/fő/év]	135,9	198	142,2	118,9	241	88,5	69,1	29,5	32,1
Változás [%]	107,7	123,4	139,7	193,2	193,9	226,9	342	627,6	1528,5



3. ábra. Egy főre jutó ásványvíz fogyasztás növekedésének mértéke 2000 és 2016 között [%] [7]

PET palackot sem tennénk a hulladékgyűjtő edényeinkbe, hanem minden palackot – természetesen a megfelelő tisztítás és előkészítés után – újrahasználnánk vagy újrahasznosítanánk, akkor sem tudnánk kielégíteni az igényeket. Látható, hogy egyre többen és többen fogyasztanak palackba töltött ásványvizet, tehát folyamatosan több palackra van szükségünk, azaz termelnünk, gyártanunk kell új ásványvízes palackokat. Mindenfajta termelés pedig nyersanyagot és energiát (!) igényel a környezettől.

Az erőművekben történő energiaátalakítások során – vagyis amikor a különféle energiahordozókból a fogyasztók számára megfelelő formában felhasználható energiát állítunk elő – növeljük a környezet terhelését, és egyúttal csökkentjük a környezet asszimiláló képességét. A környezeti problémák megoldásához a kibocsátások környezeti hatásainak stagnálni, vagy csökkennie kellene, mely egy további feltétel a fenntarthatóság eléréséhez. A környezeti hatások „befagyasztása” nem azt jelenti, hogy nem lehet „növekedni” annak érdekében, hogy a fenntartható fejlődést biztosítsuk. Van megoldás! Felelősen és szakszerűen átgondolt mérnöki tervező munkával a füstgázkibocsátás terhelő hatása csökkenthető. Kiváló példa erre a Japán hulladékégető erőművek dioxin kibocsátása (4. ábra).



4. ábra. A Japán hulladékégető erőművek dioxin emissziója 1995-2006 [8]

Az ENSZ környezetvédelmi ügynöksége egy 1995-ös jelentésében megállapította, hogy a világon tíz egység dioxin kibocsátásból, négy egység Japánból származik. Ennek következményeként a környezetvédelmi határértékeket szigorították, és nagymértékű innovációkba kezdtek. A füstgáztisztító berendezések fejlesztéseinek következményeként, illetve a szigorított szabályozásnak köszönhetően kevesebb, mint tíz év alatt eljutottak odáig a Csendes-óceáni szigeten, hogy az eltűzelt hulladék mennyiségének növekedésének ellenére, évről évre csökkent a dioxinok emissziója.

Azért is van a füstgáztisztítási technológiák fejlesztésének jelentősége, mert Kína erőmű fejlesztési irányvonala erősen épít a termikus hasznosításokra, legyen szó különböző tüzelőanyagokról: eltérő minőségű szenekről, vagy akár települési szilárd hulladékról.

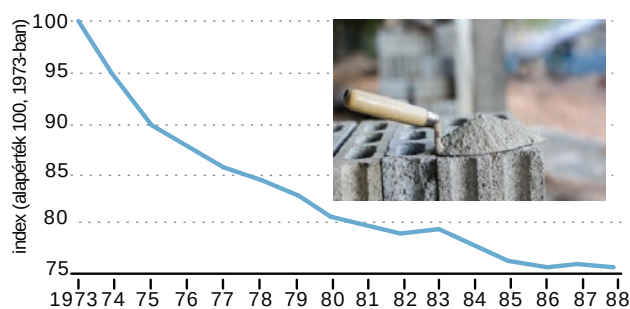
A fenntartható fejlődés elérésének következő feltétele, hogy *minden energia megújuló forrásokból* származzon. Ez a menetrendtartási követelményekkel, az ellátásbiztonsággal és a kiszámíthatósággal, a mennyiségi – és még számos más – követelmény miatt jelenleg még elképzelhetetlen.

A fenntarthatóság biztosításának következő feltétele, hogy a *gazdaság mindenfajta növekedése minőségi legyen*. Említésre került korábban, hogy az energiafelhasználásunk egyik fogyasztási szegmense a mezőgazdaság. Egy európai gazdálkodó minden megművelt hektár földterületre huszonötször több energiát használ fel, mint egy afrikai, de ez a többlet energia befektetés csak négyszer magasabb termésátlagot eredményez [2]. Tehát egyelőre a gazdasági növekedések minőségi fejlődésében is csak bízni lehet, és energiahatékonysági célokat kell kitűzni minden egyes energiafogyasztónak.

A technológiai fejlődés energetikai hatásai

Az energiagazdálkodásban kiemelt szerepe van a fogyasztásban elérhető megtakarításoknak, de figyelembe kell venni az energiaforrások diverzifikálását, a termelési és fogyasztási szerkezet egymáshoz való közelítését, az energiaátalakítások csökkentését is. Az új technológiák fejlesztése és bevezetése mellett, a meglévő műszaki folyamatunkat és alkalmazott ipari technikáinkat is fejleszteni szükséges.

Kevesebb ráfordítással többet tudunk termelni, ha a technológiai hatásfokunkat javítani tudjuk. A gépek hatásfokának javulása, a termelés és szállítás veszteségeinek csökkentése és a nagyobb



5. ábra. A cement előállításához szükséges energia 1973-1988 [9]

mértékű hővisszanyerés alkalmazása lehetővé tette az energetikai hatékonyság növelését is. Erre mutat szemléletes példát a cement előállításához szükséges energia mennyiségének csökkenése (5. ábra). Az ábrán 1973-at bázis évként vettük fel, melyhez 100-as index értéket rögzítettünk. 15 év alatt közel 25%-kal csökkent, az egy tonna cement előállításához szükséges energia mennyisége.

Nemcsak a primer energiahordozók készleteink végesek, hanem a rendelkezésünkre álló nyersanyagokkal is takarékoskodnunk kell, felhasználásukat racionalizálni szükséges. Az energetikai hatékonyságunk növelésének további lehetősége, hogy a termeléshez szükséges alapanyagokat nem elsődleges, hanem másodlagosan előállított, illetve már egyszer (fel)használt anyagokból, úgynevezett másodlagos alapanyagokból vesszük. Egyrészt így nem kell a Földünk nem megújuló ásványi nyersanyag készleteit kiaknázni, másrészt a föld alatt elhelyezkedő ásványi nyersanyagból az ipari felhasználásra alkalmas állapotba hozott fémtermékek előállításának energiaigénye is jóval csekélyebb (2. táblázat).

2. táblázat. Az egyes fémek előállításának energiaigénye [10]

Komponens	Elsődleges fém [GJ/t]	Másodlagos fém [GJ/t]
Magnézium	400	11
Alumínium	270	14
Réz	115	19
Cink	30	10
Ólom	70	18

Összefoglalás

Az ipari civilizáció mind fokozottabb mértékben használja fel a rendelkezésre álló energiaforrásokat. A világ energia felhasználásának optimalizálását a fenntartható fejlődés biztosítása is meghatározza. A fenntarthatóság gazdasági, ökológiai és társadalmi fejlődést jelent vagyis belátható, hogy igen összetett, komplex folyamatról beszélünk.

Minden energetikai megoldás függ a közigazgatási szerkezettől, a fogyasztás szintjétől, a vállalatok törekvéseitől, a gazdasági modellektől, az életszínvonalától. Befolyásolja még az előnybe részesített szállítási eszközök megválasztása, illetve az épületeink belső tereiben megkívánt komfort fokozatok is.

Az ideális energiapolitika kialakításában számos szempont játszik szerepet. Szükséges-e, hogy az energiatermelés helye a lehető legközelebb legyen a fogyasztóhoz? Ha ezt az energetikai koncepciót választjuk, akkor nyilván a szállítási veszteségek kisebbek lesznek, kevesebb lesz a beruházás és a szállítás kivitelezéséhez kapcsolódó ökológiai kockázat és a károsodás is. Ebben az esetben viszont a decentralizált energiatermelés hátrányait is el kell fogadjuk. Például nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy könnyebb ellenőrizni egyetlen nagygyűjtő gázkiadását, mint számtalan egyedi tüzelőberendezését.

Az ellátásbiztonság, a versenyképesség, a gazdaságosság megteremtése, a szükséges tartalékkapacitások biztosítása, a rugalmas termelő rendszer kiépítése, az importfüggőség csökkentése, a smart technológiák és az az okos megoldások nyújtotta lehetőségek kiaknáozása, a vegyes energiamix kialakítása és a környezetvédelmi kérdések rendszerszintű és rendszerszemléletű kezelése fogja bármely nemzet energetikai fenntartható fejlődését biztosítani!

A fejlesztéseknek, a K+F tevékenységeknek szerepe kell legyen az előrelépésben, mely a fenntartható fejlődés alapját biztosít-

ja. Akárhogy is alakítja ki egy nemzet az energiapolitikáját, az energetikai koncepcióit, mindenképpen igaz kell legyen Montesquieu mondása, miszerint a „*Henyeség és a tunyaság nem fér össze az iparúzással*”.

Kulcsszavak

Energiatermelés, fenntartható fejlődés, környezetvédelem

Keywords

Efficient energy use, sustainable development, environmental protection

Irodalmi hivatkozások

- [1] JOSÉ MUJICA beszéde Rio+20 konferencián, 2012. 06. 20.
- [2] A TERMÉSZET ENCIKLOPÉDIÁJA, Larousse, 1992, Glória kiadó, Budapest
- [3] A SZERZŐ SAJÁT MUNKÁJA, adatok forrása: A TERMÉSZET ENCIKLOPÉDIÁJA, Larousse, 1992, Glória kiadó, Budapest
- [4] A MAP DEPICTING WORLD ENERGY CONSUMPTION PER CAPITA BASED IN 2003 data from the IEA
- [5] PROF. MARK SUTTON nyomán
- [6] ENSZ, World Population Prospects, The 2017 Revision
- [7] A SZERZŐ SAJÁT MUNKÁJA, adatok forrása: <https://www.worldatlas.com/articles/top-bottled-water-consuming-countries.html>, letöltés dátuma: 2019. január 20.
- [8] A SZERZŐ SAJÁT MUNKÁJA, adatok forrása: https://www.researchgate.net/figure/Dioxin-emissions-from-waste-incinerators-and-total-amount-of-waste-incinerated-in-Japan_fig1_226720484, letöltés dátuma: 2019. január 31.
- [9] A SZERZŐ SAJÁT MUNKÁJA, adatok forrása: A TERMÉSZET ENCIKLOPÉDIÁJA, Larousse, 1992, Glória kiadó, Budapest
- [10] PROF. DR. CSÖKE BARNABÁS előadásain készített jegyzetek, PTE 2017. tavasza

Tíz év után újra elkészült a vegyesen gyűjtött települési hulladék országos elemzése

A hulladékgazdálkodás közép- és hosszú távú stratégiai céljainak meghatározásához, a hulladékkezelési létesítmény típusok és kapacitások megtervezéséhez elengedhetetlenül szükséges tudni, hogy a vegyesen gyűjtött települési hulladéknak milyen a pontos összetétele (a hulladék fajtája, a hulladékfajták megoszlása, a hulladék jellege, az anyagában hasznosítható, hasznosíthatatlan, égethető, égethetetlen összetevők mennyisége).

A települési hulladék összetételének vizsgálatára vonatkozóan 2006-2007-ben készült utoljára országos kampány, amelynek eredményei alapján készült el a vonatkozó szabvány.

Az elmúlt években a gyűjtött települési hulladék összetétele a fogyasztói szokások, és a gyűjtési rendszerek átalakulásával változáson ment át. Ezt erősítette az új hulladékgazdálkodási szabályozás bevezetése is.

A 2017 téli és a 2018 tavaszi időszakban a vonatkozó szabványoknak megfelelően az ország teljes területén – reprezentatív mintavétellel – megtörtént a vegyesen gyűjtött települési hulladék részletes elemzése.

A mérési metodika bemutatása és a mérési eredmények összefoglalása letölthető az alábbi címről:

<http://www.kormany.hu/download/e/40/91000/ITM%20Hullad%C3%A9kanal%C3%ADzis.docx>

(ITM Kommunikációs Főosztály, sajtoipm@gov.hu)

Közösségi tervezés szerepe az energiahatékony beruházásokban¹

Varga Zoltán

mérnök-közgazdász, varga.zoltan@amediator.eu

Az energia hatékonyság felhasználói oldalról egyszerre kíván meg elkötelezettséget a technológia felé, ezen keresztül a technológiát képviselő szakértő felé, és a jól megfontolt gazdasági érdekek felé. Amíg egyéni szereplőkről beszélünk sem egyszerű egy ilyen 2 dimenziós gondolkodásmód elérése, de mihelyt egy ilyen kérdés esetében valamilyen kisebb, nagyobb közösség döntése szükséges a döntési folyamat egyre bonyolultabbá válik. A megoldásban a közösséget aktivizáló részvételen alapuló (participatív) tervezés módszerei adhatnak segítséget.

*

At the same time, from the user side, energy efficiency requires commitment to technology, thus a commitment to technical expert holding relevant expertise and to the well-considered economic interests. Although we are talking about individual actors, it's not easy even to achieve such a 2-dimensional mindset. But as soon as such a decision requires the involvement of a smaller or larger community, decision-making becomes much more complicated. For this obstacle, the participative design method with activist communal approach can provide a reasonable solution.

A klímaváltozással kapcsolatos teendők jól ismert hármas fogata (adaptáció, mitigáció, szemléletformálás) a szakmai körök napi küzdelmének köszönhetően kijelenthető, hogy már politika és civil erő bevonása nélkül is ismert és értelmezett gondolatok azokon a szakmai fórumokon ahol már a lehetséges klímavédelmi eszközökből konkrét programok, projektek születnek.

A mérnök, szakértői szakma kiteljesedése és katarzisa, szakmai öröme, mikor egy-egy megtervezett, átgondolt energiahatékonysági egyúttal klímavédelmi projekt megvalósul. A megrendelő és tervező és kivitelező, de a társadalom is akkor tud igazán következtetéseket levonni, ha látja megvalósulni, ha tetszik „materializálódni” azt amit előtte a kiterített tervek lapjain látott, a műszaki leírásban olvasott.

Sajnos nem tagadhatjuk le azt a tényt sem, hogy van úgy hogy, az ötletből nem lesz terv, a tervből nem lesz hasznos produktum és ezt a tényt, hogy ez a közvetlen érintettek számára nem jár megelégedéssel csak tetézi, hogy a megghiúsulás okaként felsorolt érvek vizsgálata már ritkán támasztja fel az ügyet, hisz a motiváció, az inspiráció jelentős mértékben csökken, a rendelkezésre álló idő pedig általában már elfogyott. A klímavédelem, energia hatékonyság kapcsán pedig ne feledjük, hogy a kudarcok egyúttal csak eltávolítják, ködösítik azokat a célokat, amiket 2020, 2030-ra kitűzött hatékonysági és éghajlatvédelmi célok irányába terelték volna közben léket kapott projektjeink.

A társadalom és társadalom különböző sejtjei (család, iskola, önkormányzat, térség és szervezett, közösségek) ugyan értelmezik, ha kell jelzik a körülöttük történő eseményekre való észrevételeiket. Mégis mintha lépés hátrányban lennének önmagukhoz képest amikor egy konkrét döntést kell hozniuk akár egy energiahatékonysági felújítás, beruházás kapcsán. Nyilván vannak akik a mai kor infor-

máció dömping lehetőségét kihasználva időt és energiát áldoznak egy-egy kérdésnek, de egyúttal lehet hogy dezinformáltak lesznek, összefüggések hiányában elbizonytalanodnak, viszont akik nem tudnak és nincs lehetőségük technikai, műszaki kérdésekben állást foglalni csak a döntésük súlyát érzik, ami különböző napi problémák tükrében félelmet, visszakozást, akár ellenséges magatartást is kiválthatnak.

A nemzetközi és hazai kortárs tervezés, stratégia alkotás, részlettervek koncepciók kidolgozása során egyre nagyobb hangsúlyval van jelen a közösségi tervezés (részvételen alapuló tervezés) módszertana felé való nyitás. Azok a szellemi műhelyek, ahol valamilyen létszámú nagyságú és heterogén hatást kiváltó tevékenységet fejtenek ki, vizsgálják és keresik a megoldást, hogy a tervezés lehető legkorábbi fázisában, hogy tud megjeleníteni a végfelhasználói vélemény, mint egy tervezői input, és az hogyan tud a tervezés, stratégia alkotás hatékony részévé válni.

Azok a szakmai – politikai- szakpolitikai – kormányzási fórumok akik már elkötelezett alkalmazói a közösségi tervezésnek általában beszámolnak arról, hogy közvetlen hatása a célok pontos megfogalmazása mellett a hatékony, innovatív megvalósítás. Ennél még említésre méltóbb a közvetett hatások amik az egész közösség számára is néha meglepetést eredményeztek. Mik ezek a hozadékok? Erősödnek a közösséget megtartó és formáló együttműködések, növekszik a jóléti és lelki, pszichés egészségi állapot, aktivizálódik a közösség, erősödik az érdekérvényesítő képesség, a társadalmi tőke szerepének erősödése, nő a közösség stabilitása, egyéni szinten javul az esély egyenlőség, erősödik a lokális, helyi identitás.

A lakossági energiahatékonyság minden tekintetben a participációs (részvételen alapuló) tervezés terepe, hisz a lakóközösségek, lakóövezeti mikró térségek, társasházak, lakótelepek egy olyan heterogén csoport ahol a központosított terv ismertetés, szinte törvényszerű hogy akadályokba ütközik amennyiben a szereplők nem részesei hanem passzív társadalmi „megrendelői”, egyúttal az információ hiány miatt akár ellenzői még egy nagy fáradtsággal és alaposággal elkészített tervnek is.

Mit tehetnek azok akik szilárd meggyőződéssel, de egyre kisebb lelkesedéssel állnak egy ilyen tervezési feladat előtt. A tervezési program legyen bármilyen jó szoftveres alkalmazás, nem képes bevonni az embert a tervezésbe. Ezért a kérdés az ki a tervező? Igen az, akinek jogosultsága van, arra, hogy egy lehetséges konstrukció műszaki elemeit, a műszaki tudás, a jogszabály ismeret és szabványok tükrében az elvárt megoldás szolgálatába állítsa. Vajon az a társasházi lakó aki, megtervezi a lakásnak berendezését, eldönti havi költségezésének módját, irányát, aki munkahelyén egy kisebb csoport munkájáért felel vagy több milliós gépen dolgozva felelősen tudja le a műszakot nem tekinthetjük társ tervezőnek a saját ismerete, tapasztalatai szintjén?

A jelenlegi gyakorlatban a lakossági fórumok, lakógyűlések és hasonló formális és a szabályozásoknak teljesen megfelelő társadalmassítási és döntési fórumokról alkotott már- már előre borítékolható tapasztalatok: kevesen jönnek el, nem tartalmaznak hasznosítható információt, nem elég inspirálóak, a hangadók szét

¹ A cikk a KLENEN '19 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

forgácsoltak a napirendi pontokat az indulat lett a főszerep, nem született döntés és még sorolhatnánk.

Hogyan lehet ezt jobban csinálni?

A közösségi tervezés során az alap léggör egy őszinte, kommunikációs eszközökkel irányított konstruktív tervezési folyamat, melyben a műszaki, konstrukciós végeredmény lehet ugyan az, ami a tervezéssel megbízott szakember az elején leírt, megtervezett, de az is lehet, hogy nem az lesz. A szereplők véleményük és gondolataik elmondása alapján találkoznak a saját érdekük és álláspontjuk mellett mások, társaik, laikusok, szakágak, szakértők véleményével. A információk halmaz még sem a káosz felé viszi a projektünket, a közösségi tervezés során egy olyan innovatív, tudás és közösségileg támogatott megoldás születik, ami szigorúan zárt tervezői asztalon nem képes megszületni.

A sikeres folyamat az érintett szereplők bevonásával kezdődik, ha nem jó és nem elég körültekintő az érintettek bevonásának folyamata egy hasonló eredményre jutunk mint, ha a formálisan csak „kipipálni” szeretnénk a társadalmasítás kötelezőnek vélt lépcsőjét.

Ha látjuk már a megfelelő befolyással és fontossággal rendelkező személyeket, és rendelkezünk kapcsolat szervező képességgel akkor van itt az ideje megvizsgálni mi a leghatékonyabb módja, hogy megszólítsuk őket. A bevonás majd a részvételi tervezés során gyakorlatilag a kommunikációs tevékenység vagy még inkább a kommunikációs képességeink művészeti fokozatára kell kapcsolnunk. Meg kell tudnunk fogalmazni azokat a célokat, amik kellően figyelem felkeltők, lehetőséget kell adni, hogy mindenki a saját területének, érdekenységének megfelelően informálódjon és olyan kommunikációs teret (helységet) kell biztosítanunk ahol ezt szabadon, ítélet mentesen, kiegyensúlyozott módon mindenki szerephez jusson. Meg kell ismerkednünk a jó kérdés kifejezéssel. Mi a jó kérdés? A jó kérdés

érthető, másfelől kellően nyitott. Az a kérdés, hogy „Szeretné, ha fel lenne újítva lakó épülete?” egy rövid egy válaszos feleletre ösztönöz, ugyan akkor az, hogy „Ön szerint mitől élhető, szerethető a társasházuk?” kérdés során csak egy válaszból több olyan információ jöhet, mint ami tervezői fantázia valaha megengedhetett. Éppen ezért a válaszok sokaságát közösen priorizálni is lehet, és kell is. Ki az, aki ezt képes így végig vinni? A kérdés az, hogy kik azok, akik a folyamat támogató, segítői? Mérnökök, szakértők, projekt-menedzserek, képviselők? Igen ők vagy akár képzett ezen a területen profi, mediációs és facilitációs képességekkel rendelkező szakemberek, akik az egész folyamat során az előkészítő, tervezési és háttér folyamatokért felelnek.

A nemzetközi gyakorlatban mind két irány jellemző, amennyiben az adott műszaki szakértő inkább a tervezési folyamat szereplője lesz a laikusok között mint egy tag vesz részt a munkában, de lehet az ügy facilitátora is, mind két megközelítés eredményes lehet.

A hazai szabályozás ugyan települési és régiós programok során kötelezővé teszi a társadalmasítási és közösségi tervezés megvalósítását, de az energiahatékony, energia tudatosság, klímavédelmi szakma szereplőinek érintettjeinek ebben az esetben nem szabad a jogszabály „védőszárnyai” mögé bújni, hogy mikor kötelező és mikor nem, hanem bátran használni kell ennek a tervezési irányzatnak az eszközeit és sokkal több eredményes projekt valósul meg ami közelebb visz a káros anyag kibocsátási csökkenés és Földünk mint életünknek biztonságos teret nyújtó bolygó védelméhez

Irodalmi hivatkozások

- [1] URBACT.hu Facilitáció és részvételi tervezés – összefoglaló (2016)
- [2] Kukucska Gergely: Közösség és építészet 2013
- [3] Fűrjes B., Krémer A., Pallai K.: Közösségi konfliktus kezelés 2009
- [4] Segédlet a közösségi tervezéshez (NFGM, Váti nKft. 2010)

MEGHÍVÓ

Ezúton tisztelettel meghívjuk a **Magyar Kapcsolt Energia Társaság XXII. KONFERENCIÁJÁRA**, amelynek jelmondata:



„A kapcsolt energia reneszánsza a megújuló boom küszöbén”

A konferencia időpontja: **2019. március 26-27.**

Helye: **Balatonfüred, Hotel Füred******

A konferencia főbb témakörei:

- a nagyhatásfokú és rugalmas kapcsolt energiatermelés a klímavédelmi célok érdekében
- szabályozó központok
- a kapcsolt energiatermelés esélyei a jövőben
- napenergia alapú villamosenergia-termelés kiszabályozása kapcsolt villamosenergia-termeléssel
- kapcsolt hulladék-égetés külföldön és lehetőségei Magyarországon
- kapcsolt energiatermelés lehetősége nukleáris alapon
- az EU Tiszta Energia Csomag és a kapcsolt energiatermelés
- a földgáz-bázisú kapcsolt energiatermelés megújulásának lehetőségei
- hő- és/vagy villamosenergia-tárolás
- megújuló bázisú kapcsolt energiatermelés a KEHOP pályázatokban
- a kis kapcsolt energiatermelő egységek és a kapcsolt energiatermelő mikroegységek
- kapacitás piacok
- energia közösségek

Pódiumvita a kapcsolt energiatermelés jövőbeni lehetőségeiről az MKET Jövőkép tanulmány tükrében.

A konferenciával kapcsolatos további információk a Magyar Kapcsolt Energia Társaság megújult honlapján érhetők el: www.mket.hu

Tisztelettel:

Dr. Kiss Csaba s.k.
elnök

Papp András s.k.
szakmai alelnök

László Tamás s.k.
operatív alelnök

Sok kicsi, sokra megy – szemléletformálási javaslatok¹

Novák Dániel

okl. energetikai mérnök, novak@jomuti.hu

A szemléletformálás az energiagazdálkodás hatékonyság növelésének egyik módja. Megvalósítására különböző fórumokon különböző javaslatok és módszerek találhatók, amelyeket sokan alkalmaznak. Sokszor hallok ugyanakkor azt is, hogy „nálunk a munkatársak tudatosak, nálunk már nincs megtakarítási lehetőség, az energetikus, energetikai auditor, vagy szakreferens nem tud mit javasolni”. Én ezzel a véleménnyel nem értek egyet. Tapasztalatom szerint mindig van lehetőség a jobbításra. A szemléletformálás területén is.

Cikkemben méréseim és egyszerű energetikai számításaim alapján a háztartásokban és a munkahelyeken használt „kis fogyasztók” használat közbeni és használaton kívüli energiafogyasztására, s hozzájuk kapcsolódva az energia és költség megtakarítási lehetőségekre mutatok rá.

Külön kiemelem az átütemezéssel elérhető fogyasztói költségmegtakarítást és annak az energiatermelésben és szállításban megjelenő hasznát, amit a szakirodalom „Demand-side management – DSM, illetve Kereslet Energiagazdálkodásnak” nevez.

*

Awareness raising is one way to increase energy efficiency. There are various suggestions and methods for implementation. At the same time, I often hear that “our employees are aware of energy consumption, there is no saving opportunity at our place, the engineer, energy auditor or specialist can not suggest anything.”. I disagree with this opinion. In my experience, there is always room for improvement. Also in the field of awareness raising.

In my article, based on my measurements and simple energy calculations, I point out the energy and cost saving potentials of the ‘small consumers’ usage in households and workplaces.

I particularly emphasize the cost savings that can be achieved through rescheduling and its benefits in energy production and transportation, as reported in the literature for “Demand-side management – DSM”.

Irodai berendezések energiafelhasználása

A mindennapi munkánk elvégzéséhez számos berendezésre van szükségünk. Ezeket munkaidőnk nagyrésztében folyamatosan használjuk, mégis elkerüli a figyelmünket ezen gépek energiafelhasználása. Elmondható, hogy nem csak a munkavállalók, de gyakran az energetikai szakemberek/szakreferensek se veszik figyelembe az irodai gépek energiafelhasználását. A gyakorlatban általában becsülik ezen terület felhasználását, ennek oka általában az, hogy nincs külön mérve ezen rendszerek fogyasztása, így egyszerűen az „Épületek” felhasználásához sorolják őket. Ha rendelkezésre állna a mérések minden rendszer esetében, akkor elmondható lenne, hogy a villamos energia felhasználás 15%-a az irodákban, szorosan a munkavégzéssel (ott tartózkodással) összefüggésben kerül felhasználásra.

Ezen figyelemfelhívó cikkemben az irodai berendezések közé sorolom (a teljesség igénye nélkül) az alábbiakat:

- Személyi számítógépek (PC-k)
- Laptopok, notebookok
- Monitorok, TV-k, egyéb kijelzők
- Asztali lámpák
- Routerok, modemek, kiszolgáló berendezések
- Nyomtatók
- Fénymásolók
- Íratmegsemmisítők
- Scannerek
- Lamináló gépek
- Légkondicionáló berendezések
- Hűtőgép
- Kávéfőző
- Mikrohullámú sütő
- Vízfórallók

Véleményem szerint számos energiamegtakarítási intézkedést javasolhat egy energetikai szakreferens ezen a területen is. Természetesen számomra is egyértelmű, hogy ezek az intézkedések nem a legnagyobb költségmegtakarítást eredményezik a vállalatnak, ezért is kerül vizsgálatuk gyakran a perifériára.

Energetikai szakemberként/szakreferensként felelősnek kell lennünk környezetünkért, és nem csak a jogszabályi előírásoknak való megfelelésség teljesítése a feladatunk. Gondoljunk tovább, mint az adott vállalat rendszerhatára. Ha megfelelő szemléletformálással el tudjuk érni, hogy az alkalmazottak nagy százaléka oda figyeljen az általunk javasolt intézkedésekre, akkor azt is elérjük, hogy a saját otthonukban is odafigyeljenek. Ezzel nemzeti szinten már óriási energiamegtakarítást lehetne elérni. Ezen potenciál kiszámítása túl mutat ezen cikk mondanivalóján, de egyszerű extrapolációval minden szakember számára nyilvánvaló válik ennek nagyságrendje.

Kapcsoljuk ki, ha nincs szükség rá!

Kapcsoljuk ki azokat a berendezéseket, amiket nem használunk. Ez a mondat valószínűleg mindenki számára jól ismert, már-már elcsépelet. De mégis munkám során azt tapasztalatom, hogy ezt a legegyszerűbb tevékenységet a gyakorlatban ritkán alkalmazzák tudatosan. Leggyakrabban fordul elő, hogy a nem használt gépeket a dolgozók bekapcsolva hagyják, miközben már nem használják.

Megfelelő energetikai szemléletformálással elérhetjük, hogy azok az alkalmazottak, akik nem figyeltek eddig erre az egyszerű energiamegtakarítási lehetőségre azok is alkalmazzák a jövőben. Sőt, ezt a „gondolkodásmódot” haza is tudják vinni, így otthon is csökkenthetik saját háztartásuk energiafelhasználását.

A gépek kikapcsolása egyértelműen energiamegtakarítást eredményez. Mivel a villamosenergia-felhasználás a berendezés teljesítményének, P és az üzemidejének, τ szorzata, $E = P \cdot \tau$ [kWh], egyértelmű hogy a kikapcsolással, még az alacsony teljesítményigényű „alvó állapotban” is energia takarítható meg.

A gépek lekapcsolásával mindkét tényezőt csökkentjük! A gép nem igényel energiát, azaz mind a teljesítményigénye, míg üzemideje nulla, hiszen áll.

¹ A cikk a KLENEN '19 konferencián elhangzott előadás alapján készült.

Energetikai szakreferensként rá kell mutatnunk arra, hogy a helyes szemléletmód az, ha minden problémát és arra érkező megoldást rendszerszemléletet alkalmazva vizsgálunk meg.

Ha kikapcsoljuk a berendezéseket, akkor az iroda belső hőterhelése (a gépek veszteségei hővé alakulnak) is csökken, azaz a nyári szezonban a hűtési igény is csökkenni fog. Télen luxus lenne az irodai gépekkel temperálni munkaidőn kívül, arra bizonyára mindenhol kedvezőbb megoldásokat alkalmaznak. Gondolni kell arra is, hogy ha a berendezések nem üzemelnek, élettartamuk meghosszabbodik, karbantartási költségei csökkennek, ez is költségmegtakarítást eredményez.

Alkalmazzuk a feladathoz legmegfelelőbb berendezéseket és üzemeltessük őket helyesen!

Már az eszközbeszerzés során törekedni kell arra, hogy a gazdasági élettartam alatt a leghatékonyabban működő berendezést válasszuk ki.

A 2012/27/EU irányelv 6. cikkének és III. mellékletének értelmében, a IV. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terv 3.4.3. pontja szerint a „központi kormányzatok csak magas energiahatékonysági teljesítményű termékeket, szolgáltatásokat és épületeket szerezzenek be, amennyiben ez összeegyeztethető a költséghatékonysággal, a gazdasági megvalósíthatósággal, a tágabban értelmezett fenntarthatósággal, a műszaki alkalmassággal, valamint a verseny megfelelő érvényesülésével.”

Tehát ez nem csak azt jelenti, hogy energetikailag a leghatékonyabb legyen, hanem azt is, hogy a vele elvégzett feladatokat maradéktalanul teljesíteni tudja az elvárt minőségben és/vagy mennyiségben.

Az eszközbeszerzés során mindig szem előtt kell tartani, hogy a beszerzendő berendezésnek mi lesz a feladata. Az adott tevékenység ellátásához szükségesnél ne szerezzünk be sokkal jobb eszközt, hiszen az nem is költség, és nem is energiahatékony megoldás. Példaként említve, általános irodai felhasználáshoz ne vásároljunk olyan nagy monitorokat, és olyan nagy teljesítményű hardverrel ellátott PC-eket, amelyeket nem használunk ki a munka során, hiszen ez csak többlet energiafelhasználást eredményezne. Viszont vegyük figyelembe, hogy az alkalmazottak feladataival összhangban sokszor eltérő konfigurációkra lehet szükség.

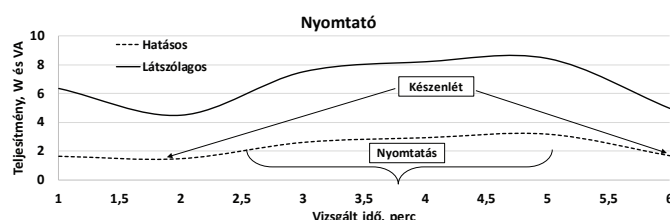
Az eszközbeszerzése során, a beruházási költség mellett figyelembe kell venni az üzemeltetési költségeket is. A drágább termék hosszú távon az olcsóbb megoldás lehet. Az energetikai szakreferenseknek nyomtatékosítani kell, és e téren a tapasztalatok szerint sokszor a cégvezetés szemléletmódját is meg kell változtatni. Célszerű közösen kidolgozni olyan útmutatókat, melyek segítenek az eszközbeszerzés során. Példaként az alábbiakban bemutatam a három leggyakoribb irodai fogyasztót, és a lehetséges energiamegtakarítási intézkedéseket.

Nyomtatók

A mindennapos munka során a nyomtatók használata elengedhetetlen (véleményem szerint ez sajnálatos,) így energiafelhasználással is foglalkozni kell. Általánosságban elmondható, hogy a korszerűbb nyomtatók kevesebb energiát fogyasztanak, viszont vannak közöttük olyan kiemelkedő minőségben és gyorsasággal nyomtató gépek, amelyek teljesítményfelvétele vetekedhet egy korszerűtlenebbével.

Méréseim azt mutatták, hogy egy átlagos tintasugaras nyomtató teljesítményfelvétele nyomtatásra várva közel 30-40%-a a nyomta-

tás közbeni teljesítménynek (1. ábra). Ezt a „felesleges” fogyasztást szakaszos nyomtatással és utána a gép kikapcsolásával ki lehetne küszöbölni. Az új berendezések már pillanatok alatt képesek kikapcsolt állapotból üzemkésszé válni, így ez nem lehet akadály.



1. ábra. CANON PIXMA típusú tintasugaras nyomtató teljesítményfelvétele

Belső használatra kizárólag fekete-fehér két oldalas nyomtatásra képes nyomtatót alkalmazzunk, ez a lehető legkörnyezetbarátabb (a fekete-fehér tinta előállítása olcsóbb és környezetkímélőbb, kevesebb a papír használat) megoldás. Ha lehetőség van rá, akkor törekedni kell arra is, hogy a nyomtatót szakaszosan (Ne egy-egy oldalakat nyomtassunk ki!) alkalmazzuk. Ezzel elérhetjük, hogy a gép többlet legyen stand-by módban, mint „üresjárás”-ban így energiát tudunk megtakarítani. (Üresjárásban a kijelző és klaviatúra világít, a nyomtató felmelegedett állapotban van. Míg stand-by módban a teljesítmény felvétele ~0 W.) Bár itt meg kell jegyezni azt, hogy bizonyos berendezések adott idő után kerülhetnek olyan „alvó” állapotba, amelyből a „felébresztésük” nagyobb energiafelhasználással jár, mintha simán stand-by módban maradtak volna.

Csökkentsük le a nyomtatás minőségét is belső használat esetén. A gyengébb minőségű nyomtatás időben gyorsabb (csökken a τ), és jóval kevesebb festék szükséges hozzá. Amennyire lehetséges csökkentsük le a margók szélességét, hogy minél több hasznos információ kerüljön egy oldalra, így csökkenteni tudjuk a papírfogyasztást is. Csak az igazán szükséges dolgokat nyomtasuk ki (egy lézernyomtató toner előállításához kb. 4 liter kőolajra van szükség).

Válasszunk olyan nyomtatót, amely képes a két oldalas nyomtatásra, a nyomtatás minőségét tág határokon belül lehet változtatni.

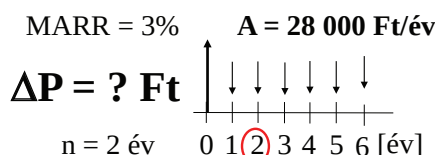
Az előbbi fejezetben említett átgondolt eszközbeszerzésre egy nagyon jó példa a tintasugaras és lézeres nyomtatók közötti különbség. Előbbiek jóval olcsóbban beszerezhetők, viszont irodai felhasználás mellett nagyon drágán üzemeltethetők. A lézeres berendezések esetében ez pont fordítottan igaz, sőt megbízhatóbban is üzemelnek, mint tintasugaras társaik. Egyszerű számítással az előbbiek könnyen igazolhatók.

Vettem egy gyártó tintasugaras és lézeres nyomtatóját. Mindkét esetben a gépek katalógus adataiból indultam ki, az árakat különböző árszínhasonlító portálok segítségével határoztam meg.

A tintasugaras berendezés normál fekete-fehér festékpátrónja ~550 A4-es oldal nyomtatására elegendő. Ennek kiskereskedelmi ára ~ 6500 Ft/patron. Fajlagosan egy oldal nyomtatása ~12 Ft/oldal. A lézernyomtató tonerkazettája ~2500 A4-es oldalhoz elegendő, ennek ára 19200 Ft/toner. Fajlagosan egy oldal nyomtatása ~8 Ft/oldal. Tételezzük fel, hogy a nyomtatók gazdasági élettartam ~2 év.

Mekkora lehet a többlet beruházási költsége a lézernyomtatónak, hogy megérje azt megvenni? A jobb berendezéssel elérhető megtakarítás ~4 Ft/oldal. A nyomtatóknak éves szinten körülbelül

~7000 oldalt kell kinyomtatniuk. Az energiahatékonysági intézkedés (korszerűbb gép beszerzése) megvalósítása által az éves várható megtakarítás $A_{\text{meg}} = -28\,000,- \text{ Ft/év}$, a gazdasági élettartam, illetve megkívánt megtérülési idő $n = 2 \text{ év}$, és minimális elvart hozam, $MARR = 3\%$. A várható megtakarítás figyelembevételével azt keresem, hogy mennyi lehet az A megtakarítást eredményező energiahatékonyság növelő intézkedés megengedhető (többször) költsége, (ΔP) (2. ábra).



2. ábra. A kiinduló adatok szemléltetése

A feltételezett gazdasági élettartam és a MARR figyelembevételével meghatároztam az állandó sorozat jelenérték tényezőjét, azaz azt a szorzót, ami a további számoláshoz szükséges:

$$USPW = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = \frac{(1+0,03)^2 - 1}{0,03 \cdot (1+0,03)^2} = 1,91$$

Az egyenletes ütemezésben jelentkező, azonos pénzösszegek jelen időpontra vonatkozó értéke, azaz a megváltoztatott rendszer beruházásának az elvárásokat teljesítő lehetséges költsége:

$$P_{2\text{év},3\%} = A_{\text{meg}} \cdot USPW = 28\,000 \cdot 1,91 = 53\,480 \text{ Ft}$$

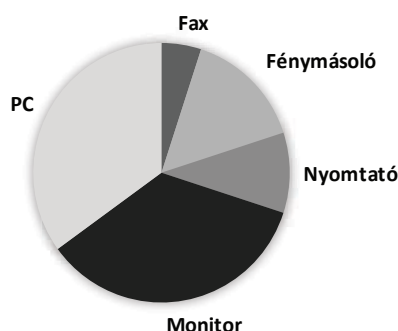
Az eredményekből az következik, hogy a fenti referencia értékek mellett a lézernyomtatató többletköltsége ~53 000 Ft/gép lehet.

A lézernyomtatatók üzemeltetési költségei általában magasabbak, mivel működés közben és stand-by módban is többet fogyasztanak, mint egy tintasugaras nyomtatató. A nyomtatási minőségük viszont jobb, és gyorsabbak is. A beruházási, üzemeltetési költségeket, valamint a megkívánt minőséget és sebességet együtt kell vizsgálni a beszerzés során.

Ezen konkrét gondolatmenet bemutatásával arra akarom ösztönözni az olvasókat, hogy eszközbeszerzés során mindig mérlegeljék a fentieket.

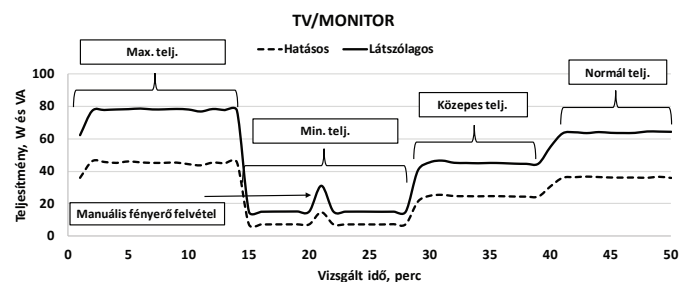
Számítógépek és monitorok

A 3. ábrán látható, hogy a hivatkozott forrás szerint egy tipikus iroda villamosenergia-felhasználásának közel kétharmada a személyi számítógépek fogyasztása. Ez igazából azzal magyarázható, hogy egy irodában számítógépből van a legtöbb, és ezek is működnek a legtöbbet egy munkanapon.



3. ábra. Egy tipikus iroda villamosenergia-felhasználása (Forrás alapján: www.carbontrust.com)

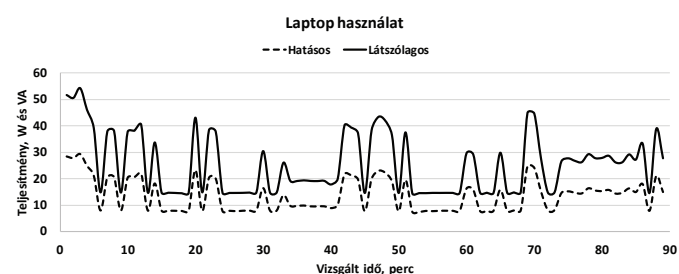
A 4. ábrán látható, hogy egy korszerű, nagyméretű asztali monitor felhasználása, hogyan függ az üzemeltetési program megválasztásától.



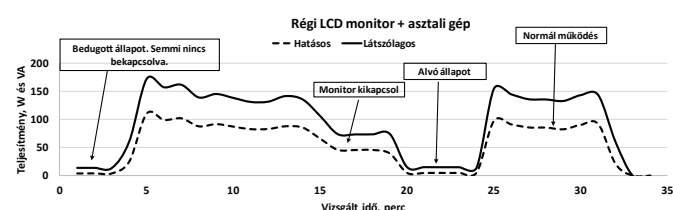
4. ábra. LG led TV/Monitor teljesítményfelvételének alakulása különböző beépített módokban

Minimális teljesítmény mellett a monitor teljesítmény felvétele 8 W, míg maximális felbontás és fényerő mellett ez ~45 W. Tehát a különbség majdnem 6-szoros, pontosan 37 W. **Az éves munkaidő (~2000 h/év) mellett ez ~2.220 Ft/év (30 Ft/kWh villamosenergia-ár mellett) különbséget jelent egy monitor esetében.** Az olvasóra bízom, hogy elgondolkodjon azon, hogy az Ön cégénél hány monitor üzemel, és az optimálisabb üzemeltetés milyen költségmegtakarítással járna. Természetesen figyelembe kell venni, hogy a minimális „mód” használata mellett, már a kijelző háttérvilágítása nagyon alacsony, így azt jól megvilágított irodában már nem lehetne alkalmazni. **Az emberi egészség mindig előrébb való!**

A számítógépek cseréjekor meg kell vizsgálni annak lehetőségét, hogy helyettesíthető-e a sokkal kisebb fogyasztású, bár drágább laptopokkal (nincs szükség monitorra sem). Alább láthatók egy laptop (5. ábra) és egy asztali munkaállomás (6. ábra) valós teljesítményfelvétele munkaközben. Elmondható, hogy átlagosan egy laptop 15 W, míg az asztali munkaállomás ~100 W teljesítményt vesz fel hétköznapi munka (szöveg és táblázatszerkesztés, prezentáció készítés, böngészés, elektronikus levelezés) során.



5. ábra. ASUS R752L 17" típusú laptop teljesítményfelvétele energiatakarékos Intel processzorral ellátva



6. ábra. Egy asztali számítógép és LCD monitor kumulált energiahasználata munkaközben

Ezenfelül előnyként kiemelhető, hogy a laptopok sokkal nagyobb mobilitást is nyújtanak a munkavégzés során. Sőt, ha az alkalma-

zott valamilyen okból nem tud bejutni a munkahelyére (pl. időjárási körülmények, vagy más váratlan esemény), akár otthonról is képes elvégezni a rábízott feladatokat.

Fénymásolók

A fénymásoló berendezések általában kisebb számban fordulnak elő az irodákban, mint a számítógépek vagy nyomtatók. De megjegyzendő, hogy ezen berendezések egységeltjesítménye jóval nagyobb. A villamos energia nagyrésze hővé alakul a fénymásolás technológiájának megfelelően. A toner felmelegítése sok energiába kerül, és általában a berendezések az elért hőmérsékletet „üresjárásban” valamilyen szinten fent is tartják. Célszerű olyan berendezéseket használni, amelyekben minél alacsonyabb olvadáspontú a felhasználható toner töltete.

A fénymásolók üzemeltetésénél szinte ugyanazokat a javaslatokat meg lehet említeni, mint a nyomtatók esetében.

Az igényeknek megfelelő berendezést vásároljunk. Minél nagyobb a megkívánt másolási sebesség, annál több energiát használ fel a berendezés, eszerint kell kiválasztani az igényeiknek megfelelő. Lehetőleg lehessen változtatni a különböző fénymásolási minőségek között. Képes legyen a két oldalas fénymásolásra.

Alkalmazzuk az elérhető legjobb technológiát!

A fejezet címének elolvasása után az olvasóban felmerülhet egyfajta ellentmondás az előző fejezet mondanivalójával kapcsolatban.

Alkalmazzuk az elérhető legjobb technológiát, ha az gazdaságilag, műszakilag, társadalmilag, és környezetvédelmi szempontból is előnyös a számunkra. Ezzel nem azt akarom mondani, hogy az elérhető legdrágább berendezéseket kell megvásárolni. Az elérhető legjobb technológia nem feltétlen jelenti a legköltségesebb megoldást.

A vállalati életben számtalanszor előfordul, hogy bizonyos alkalmazottaknak (legyen az vezető, területi képviselő, üzletkötő stb.) össze kell ülni és átbeszélni az üzlettel kapcsolatos teendőket. Munkám során számtalanszor tapasztaltam azt, hogy 1 órás meetingek kedvéért a területi képviselők bizonyos cégeknél 2-3 órát is utaznak autójukkal a cég központjába. Az általam vizsgált vállalat esetében a képviselők átlagosan 100 km-t tettek meg egy hónapban akár kétszer is egy-egy órás meetingen való részvétel érdekében. A szolgálati autók fajlagos fogyasztása a kimutatások alapján 5,8 liter gázolaj 100 kilométerenként. A gázolaj ára (2019. január 14. holtankoljak.hu alapján 376 Ft/liter). A területi képviselőnek meg kell tennie 200 km-t (oda-vissza) havonta (1 meeting/hó), ami **~4400 Ft/hó és 52 800 Ft/év** költséget jelent a cég számára az alábbi képlet alapján.

$$P = \dot{B} \cdot p_{üz} \cdot l = 5,8 \frac{l}{100km} \cdot 376 \frac{Ft}{liter} \cdot \frac{200km}{100km} \approx 4400 \frac{Ft}{hó}$$

ahol,

P – üzemanyag költség, Ft/hó

B – az autó fajlagos fogyasztása, liter / 100km

$\dot{p}_{üz}$ – az üzemanyag egységára, Ft/liter

l – a megtett távolság / 100 km, km / 100km

Ma már a technika mind hardveresen, mind szoftveresen adott ahhoz, hogy ezeket a meetingeket on-line lehessen megtartani. A gyakorlatban azt tapasztaltam, hogy az IT szakemberek többletmunkáján (~1 h/hónap) kívül nem volt szükség egyéb eszközök beszerzésére, mert minden szükséges berendezés adott volt „házon belül”. Én úgy gondolom, hogy az általam vizsgált esetek nem egyediek. Az ilyen fajta „energiahatékonysági” intézkedés az alábbi hasznokkal járhat:

- Az alkalmazott közel 3 órát takarít meg azzal, ha nem kell beülnie az autóba. Ez alatt hasznos munkát végez vállalata számára, amely kimutatható eredménnyel párosulhat.
- Az alkalmazott nem teszi ki magát balesetveszélynek.
- Kevésbé fárad el fizikailag és szellemileg egyaránt, mely eredményeinek javulásához vezethet.
- Energiatakarékos, költséghatékony, környezetbarát, hiszen a gépjármű nem éget el üzemanyagot!
- Költséghatékony továbbá azért is, mert a jármű futásteljesítménye csökkenthető. Szervízdíja, futásteljesítmény függő karbantartási költségei, lízingdíja csökkenthető.

Csökkentsük a hűtési igényt!

Az irodákban megtalálható nyomtatók, fénymásoló gépek, egyéb berendezések működésük közben viszonylag nagy hőt adnak le környezetüknek. Ezért javasolt ezeket a berendezéseket olyan helyekre telepíteni, ahol a szellőzés természetesen biztosított, és hűvösebb (pl. épületek északi részei) is van, mint az irodákban. Ilyen apró intézkedésekkel is tudjuk csökkenteni a légkondicionálás energiaszükségletét!

De mint korábban említettem, gondolkodjunk rendszerben! Egy nyomtató, vagy egy fénymásoló hangja napi 8-12 órában eléggé megterhelő az ember fülének. Így azzal, hogy energetikai megfontolásból ezeket a berendezéseket kihelyezzük az irodán kívülre, csökkenthető az alkalmazottak zajterhelése is, mely által szellemi munkavégző képességük nő.

Tartsuk karban gépeinket!

Tartsuk karban gépeinket, mert ezáltal hosszútávon fenntartható marad a gazdaságos üzemvitel. Irodai berendezések esetén elfeledkezünk a karbantartások szükségszerűségéről. Ez azzal magyarázható, hogy a karbantartás hiányából adódó hibák általában hosszabb idő után jelentkeznek, viszont akkor általában fatálisak. A különböző berendezések (PC-k, nyomtatók, scannerek, laptopok stb.) megfelelő karbantartásával elérhető, hogy azok teljes élettartamuk alatt a legoptimálisabb (energetikai szempontból is) módon üzemeljenek.

Hívjuk fel kollégáink figyelmét!

Egy fecske nem csinál nyarat – tartja a mondás. Ha mindannyian egyetértünk ezzel a kijelentéssel, akkor társadalmunk nem lenne fejlődő képes, s egy helyben toporognánk az élet minden területén. Ez a mi esetünkben is igaz. Véleményem szerint azok az energetikai szakemberek/szakreferensek, akik folyamatosan felhívják üzletfeleik figyelmét a különböző energiatárolási intézkedésekre (legyenek azok bármennyire is „kisléptékűek”), azok mindegyikük egy-egy „fecske”.

Gyakorlati tapasztalataim azt mutatják, hogy az alkalmazottak az irodai gépek használata közben nem teszik fel maguknak a kérdést, hogy azt a berendezést lehetne-e optimálisabb módon üzemeltetni. Meg kell jegyeznem, hogy ez nem feltétlen az alkalmazottak hibája. Ez pont az a terület, amelyre az adott vállalat vezetősége hatással tud lenni, és fejleszteni/alakítani tudja alkalmazottainak a szemléletmódját az alkalmazott energetikai szakreferens bevonásával. A legjobb befektetés mindig a „tudásba” való befektetés!

A figyelemfelhívás szükséges, de nem elégséges feltétele annak, hogy szavaink meghallgatásra találjanak, és a magokat elültessük a fejekben. A szemléletformálás nem egy meeting, nem egy előadás, nem egy prezentáció, nem egy dokumentum. A szemlé-

letformálás sokkal több. Alkalmazottainkat folyamatosan képezni és ösztönözni kell arra, hogy az energiahatékony gondolkodásmód a zsigerekben legyen. Az elért megtakarításokat nem csak a vezetőségnek kell prezentálni, hanem számukra is. Mutassuk be nekik, hogy odafigyelésükkel milyen közös eredményeket érnek el az energiahatékony területén. Alkalmazunk általános összehasonlító példákat, mint az alábbiak. Az alkalmazottaknak meg kell tanítani egyszerű példákon keresztül, hogy az optimális üzemeltetés milyen előnyökkel jár a vállalat és természetesen az ő számukra is.

Kapcsoljuk ki a számítógépeinket!

Az éjszakára bekapcsolva hagyott számítógép, annyi szén-dioxid „kibocsátást” eredményez, amellyel 22 fürdő kádát lehetne megtölteni.

Ha munka után bekapcsolva hagyjuk az irodai számítógépünket, akkor villamosenergiát pazarlunk. A Magyarországon felhasznált villamos energia termelése leginkább fosszilis tüzelőanyagokból és hasadóanyagokból történik. Feltételezzük, hogy 1 MWh villamosenergia-előállítása során átlagosan 0,566 tonna CO₂ kerül a levegőbe (Ez a felhasznált tüzelőanyag mix függvényében különböző országok esetében más, s más). A szén-dioxid erősen üvegházhatású gáz, ezért törekedni kell az emisszió csökkentésére.

Egy asztali számítógép saját méréseim alapján stand-by állapotban ~0,004² kW villamosteljesítményt igényel. A bekapcsolva hagyott számítógépek éjszakánként ~11 órán keresztül feleslegesen működnek. Az alábbi képlet segítségével kiszámolható, hogy ez mennyi elpazarolt villamos energiával egyenlő.

$$E = \tau \cdot P = 11 \text{ h} \cdot 260 \text{ nap} \cdot 0,004 \text{ kW} = 11,4 \text{ kWh/év}$$

$$\text{CO}_{2,\text{emisszió}} = 0,566 \text{ kg/kWh} \cdot 11,4 \text{ kWh} = 6,45 \text{ kg/év}$$

CO₂ sűrűsége 1,98 kg/m³ (nehezebb, mint a levegő). Tehát az éjszakára bekapcsolva hagyott számítógépek következtébeni többlet CO₂ kibocsátás ~3,25 m³. Egy átlagos fürdőkád 150 liter, ami 0,15 m³-nek felel meg. **Tehát körülbelül 22 fürdőkádát lehetne szén-dioxiddal megtölteni 1 db bekapcsolva hagyott számítógép miatt.**

Tévhit, hogy a számítógép bekapcsolva hagyása kevesebb energiafelhasználás jelent, mint a ki-be kapcsolás. A mérési eredményeim azt mutatják, hogy a bekapcsolás energiafelhasználása körülbelül 4 perc működésnek felel meg. Tehát, ha valaki ennél tovább hagyja bekapcsolva a számítógépét az helytelenül jár el.

Kapcsoljuk ki a monitorjainkat!

Az éjszakára bekapcsolva hagyott számítógép monitor, annyi villamos energiát fogyaszt, amely elegendő 11 tányér étel mikrohullámú sütőben való melegítéséhez.

Egy átlagos számítógép monitor átlagosan 20 W villamos teljesítményt igényel. Ha éjszakára bekapcsolva felejtjük (azaz nem kerül készenléti állapotba), akkor 11 órán keresztül feleslegesen működik. Az alábbi képlet segítségével kiszámolható, hogy ez mennyi elpazarolt villamos energiával egyenlő.

$$E = \tau \cdot P = 11 \text{ h} \cdot 20 \text{ W} = 220 \text{ Wh}$$

Egy átlagos mikrohullámú sütő 800-1000 W teljesítményt igényel. Egy étel megmelegítése ~1,5 perc. Azaz egy ebéd „elkészítéséhez”

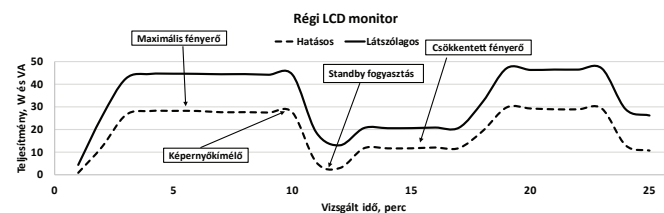
az alábbi képlet segítségével kiszámolt mennyiségű villamosenergia szükséges.

$$E = \tau \cdot P = 1,5 \text{ perc} \cdot 800 \text{ W} = 0,025 \text{ h} \cdot 800 \text{ W} = 20 \text{ Wh}$$

(Mérési eredményeim ezt a számítást alátámasztották.)

Láthatjuk, hogy ha egy éjszakára bekapcsolva hagyjuk a monitorjainkat, akkor 11 kollégánknak hidegen kellene ennie a másnapi ebédjét, hogy kompenzálják a Mi figyelmetlenségünk miatti pazarlást.

Változtassunk eddigi magatartásunkon, és kapcsoljuk ki a monitorjainkat, ha munkaállomásunkat elhagyjuk több, mint 5 percre. Tévhit az, hogy a monitor képernyőkímélő üzemmódban keveset fogyaszt. Ezt az alábbi diagram (7. ábra) is bemutatja.



7. ábra. Régi LCD monitor használat közbeni teljesítményfelvétele

Áramtalanítsunk!

Ha egy éjszakára az iroda összes berendezését áramtalanítjuk, akkor annyi villamos energiát takarítunk meg, mely elegendő 238 csésze kávé elkészítéséhez. Ez ~egy évnyi kávé adagunkat jelenti, ha napi egy csésze kávé iszunk a munkahelyünkön.

Tételezzük fel, hogy minden berendezést 11 órára áramtalanítunk éjszaka.

1. Kihúzzuk a fénymásológépet, aminek a stand-by fogyasztása ~5 W.

$$E = \tau \cdot P = 11 \text{ h} \cdot 5 \text{ W} = 55 \text{ Wh}$$

2. Áramtalanítunk 25 db számítógépet, amelyek egyenkénti fogyasztása ~4 W.

$$E = \tau \cdot P = 11 \text{ h} \cdot 4 \text{ W} \cdot 25 = 1100 \text{ Wh}$$

3. Kihúzzuk a nyomtatógépet, aminek a stand-by fogyasztása ~4 W.

$$E = \tau \cdot P = 11 \text{ h} \cdot 4 \text{ W} = 44 \text{ Wh}$$

Tehát egy éjszaka alatt megtakarítunk 1199 Wh (~1,2 kWh) villamos energiát. Egy átlagos kávéfőző teljesítmény felvétele ~1200 W. Egy csésze kávé elkészítési ideje ~15 másodperc.

$$E = \tau \cdot P = 15 \text{ s} \cdot 1200 \text{ W} = 0,0042 \text{ h} \cdot 1200 \text{ W} = 5,04 \text{ Wh}$$

Azaz ~238 csésze kávé tudunk elkészíteni az egy éjszaka alatt megtakarított villamos energiával.

Kapcsoljuk le a villanyt!

Ha éjszakánként égve hagyjuk az irodai világítást, akkor annyi villamos energiát pazarlunk, amennyiből otthon ~41, ~27, illetve ~13 napig tudnánk fűteni.

Vegyünk egy 28 m²-es irodát, melynek mennyezetén 5 db 58 W T8 G13 26mmØ standard fénycső gondoskodik a munkaterület megvilágításáról. Az irodában éjszakánként égve marad a világí-

² <http://kamaraonline.hu/cikk/keszenleti-vagy-kikapcsolt-allapot-ennyit-fogyasztanak-a-mobil-toltok-es-az-informatikai-keszulekek>

tás – 20:00 és 07:00 között – azaz 11 órán keresztül.

$$E = \tau \cdot P = 11 \text{ h} \cdot 260 \text{ nap} \cdot (58 \text{ W} \cdot 5) = 11 \cdot 290 \cdot 260 = 829\,400 \text{ Wh} = 829 \text{ kWh}$$

Azaz az előbb említett fényforrások egy év alatt 829 kWh villamos energiát használnak fel. Ha ezt átszámoljuk primerenergiára (Magyarországon 2,5-es szorzó tényező), akkor 2073 kWh energiát pazaroltunk el.

Egy átlagos lakás/családi ház fűtési igényét 33 GJ/év, 50 GJ/év vagy 100 GJ/évnek feltételezzük, illetve 9167 kWh/év, 13 889 kWh/év és 27 778 kWh/év. 180 napos fűtési időszakkal számolva 51, 77 és 154 kWh/nap.

Azaz 2073 kWh-ból ~13, ~27, illetve ~41 napig lehetne otthon fűteni.

Mérjük meg és elemezzük fogyasztásunkat!

Ahogy a tanulmány elején is említettem ritka eset az, amikor az irodákban található berendezések fogyasztásai és/vagy teljesítményei külön mérve vannak. Általában ezek becslések alapján meghatározott értékek.

Ez ellen tenni kell. Tudatosítani kell az ügyfelekben, hogy a mérőberendezések beépítése számukra hosszú távú előnnyel járhat.

A mérőberendezések segítségével bemutatathatjuk a különböző üzemeltetési módok közötti energiafelhasználásbeli különbségeket. Felügyelni tudjuk berendezéseink teljesítménylefutását. Elemezni mindig csak azt tudjuk, amit látunk is!

A mérőberendezések mellett hasznos lehet programozható/időzítható dugaljak, hosszabbítók, tápforrások alkalmazása is. Ezek segítségével elérhetjük azt, hogy a munkavállalóknak ne kelljen mindennap odafigyelniük a gépek egyenkénti áramtalanítására. Így munkaidőn kívül nem lesz felesleges energiafelhasználás. Természetesen az áramtalanítás megtervezésekor figyelembe kell venni, hogy bizonyos berendezéseket nem célszerű (szerverek, biztonsági berendezések, hűtőgépek) tápellátás nélkül hagyni.

Fogyasztói energiagazdálkodás – Demand-side management

A fentiekben számos példán keresztül bemutattam, hogy milyen fontos a szemléletformálás, és az emberek magatartásának megváltoztatása, hogy eredményeket érjünk el az energiahatékonyság terén. Hiába termeljük meg, és szállítjuk el a legmagasabb hatásfokkal az energiát (hő- és/vagy villamos energia) a fogyasztók felé, ha a felhasználási pontokon nem energiahatékony módon kerül felhasználásra. Az angol nyelvű szakirodalom azt a fajta megközelítést, amikor a fogyasztói szokásokat pénzügyi ösztönzőkkel, szemléletformáló javaslatokkal, oktatással változtatjuk meg demand-side management-nek (DSM) vagy demand side response-nak (DSR) nevezik. Ez magyarra fordítva a KERESLET ENERGIAGAZDÁLKODÁS.

Kereslet energiagazdálkodás egyik leglényegesebb eleme, hogy a fogyasztókat ösztönözzük a csúcsidőn kívüli fogyasztásra (például: éjszaka, vagy hétvége). Ez nem feltétlenül jelenti azt, hogy az össz-energiafelhasználás csökken. A teljesítményigények időbeli lefutása lesz egyenletesebb, és ritkábban jelentkeznek „csúcsok”, amiket rövid idő alatt ki kell elégíteni. A csúcsok letörésének következménye, hogy a termelés tervezhetőbbé válik, valamint mind termelői oldalról, mind elosztói/szállítói oldalról csökkenthető a mögöttes műszaki tartalom, így jelentős megtakarításokat lehet elérni. A DSM számos eszközzel támogatható, ezek közül kiemelném a szemléletformálás és oktatás jelentőségét. A szakemberek gyakran

csak a gépek és rendszerek korszerűsítésével/optimalizálásával foglalkoznak, ahelyett hogy törekednének szemléletmódjuk és tudásuk átadására.

Energetikai szakemberként/szakreferensként jó pozícióban vagyunk, hogy hatékonysági javaslatainkat közvetítsük partnereink felé, ötleteinkkel segítsük őket.

A szemléletformálás = energiahatékonysági intézkedés!

Összefoglalás

Az irodai környezetben viszonylag könnyen lehet elérni energiamegtakarítást többlet beruházás nélkül. Fentebb is említettem, hogy nagy valószínűséggel a legnagyobb megtakarítást nem itt lehet realizálni, de sok kicsi sokra megy alapon igenis foglalkoznia kell az energetikai szakreferenseknek ezzel a területtel is. Úgy gondolom szemléletformáló javaslataink is itt találnak leginkább meghallgatásra, hiszen ezen eszközök használata életünk szerves részét képezik, így mindenki találkozik velük nap, mint nap.

Bemutattam, hogy számos lehetőség van a kezünkben melyek alkalmazásával/segitésével energiamegtakarítást lehet elérni.

Ezek közül kiemelendő a szemléletformálás fontossága és az alkalmazottak gondolkodásmódjának folyamatos fejlesztése.

A megfelelően alkalmazott és célzott szemléletformálással az alábbi eredmények érhetőek el közvetlenül vagy közvetetten:

- **Energiamegtakarítás** (közvetlen) – A hatékonyabb üzemeltetés révén energiát tudunk megtakarítani.
- **Kevesebb hulladék** (közvetlen) – Optimalizált folyamatokkal, szervezeti intézkedésekkel elérhető, hogy kevesebb hulladék keletkezzen.
- **Közvetetten kisebb károsanyag kibocsátás** (közvetett) – A kevesebb energiafelhasználás miatt közvetetten csökken a károsanyag kibocsátás.
- **Egészségesebb, és produktívabb munkavégzés** (közvetett) – Jobb berendezésekkel csökkenthető a zajterhelés.
- **Költségmegtakarítás** (közvetlen) – Költséget tudunk csökkenteni, ha az iroda kevesebb energiát használ fel.
- **A cég jobb megítélése** (közvetett) – Elért eredményeinket bátran publikáljuk a nyilvánosság felé, így cégünk elismertsége nő.

Ki kell emelni azt, hogy az elérni kívánt célokért nem csak az alkalmazottak felelősek. Az energiahatékonyság elérése minden esetben közös cél, melynek elérését a cég vezetőségének kell kitűznie, az odavezető utat meghatározni, felügyelni. A cél elérésért mindenkinek tennie kell, ezért mind az alkalmazottakat, mind a vezetőket folyamatosan képezni és motiválni kell. A közös stratégia kidolgozása közben a vállalat minden szintjének lehetőséget kell adni a véleménynyilvánításra. Minél inkább magukénak érzik a munkavállalók a stratégiát, annál jobb eredményeket fognak elérni.

Sok kicsi sokra megy, sokan sokra megyünk!

Irodalmi hivatkozások

- [1] Carbon Trust – Office equipment -Introducing energy saving opportunities for business – www.carbontrust.com
- [2] Carbon Trust – Office based companies – www.carbontrust.com
- [3] www.carbontrust.com
- [4] <https://web.archive.org/web/20050126094530/http://dsm.iea.org/>
- [5] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/demand-side-management>
- [6] <http://www.pacificorp.com/es/dsm.html>
- [7] https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-19322-4_4
- [8] https://www.researchgate.net/publication/254396586_Demand-side_Management_Strategies_and_the_Residential_Sector_Lessons_from_International_Experience

Betonelemek életciklus elemzése a környezettudatosság és az energiahatékonyság jegyében¹

Mannheim Viktória

okl. mérnök-közgazdász, mannheim@uni-miskolc.hu

Siménfalvi Zoltán

okl. vegyipari gépészmérnök, simenfalvi@uni-miskolc.hu

A cement kötőanyagként és a beton építőanyagként történő életciklus elemzése kétségkívül az építmények életciklus értékelésének fontos részét képezik. A Miskolci Egyetem LCA kutatásai keretében a beton teljes életciklusa került kidolgozásra komplex módon a gyártási szakasztól a használati szakaszon át az életút-vége szakaszig, a környezetvédelmi terméknyilatkozat információk moduljainak figyelembevételével. A teljes életcikluson belül kiemelt szerepet kap a hulladékká válás szakasza, ahol a disszipatív felhasználást értékeljük. A betonelemek gyártására vonatkozó LCA elemzést követő lépések és módszertani megközelítések kidolgozását követően, a normál szilárdságú és nagy szilárdságú betonból készült előregyártott betonelemek életciklus elemzésének eredményei kerülnek összehasonlításra a környezeti hatások számszerűsítése, a teljes primer energiaigény és a kibocsátott üvegházhatású gázok összehasonlítása által.

*

The Life Cycle Assessment for cement as binder and for concrete as building material is undoubtedly an important part of the LCA of buildings. In the framework of LCA researches at the University of Miskolc, the total life cycle of concrete has been developed in a complex way from the production phase through the usage to the end-of-life stage with the help of information modules of the Environmental Product Declaration (EPD). Within the total lifecycle, the end-of-life phase plays an important role, where the dissipative use is evaluated. After the development of the steps following the LCA of the production of concrete elements and its methodological approaches, the results of the LCA of prefabricated concrete elements from normal and high strength concrete are compared by quantifying environmental impacts and comparing total primary energy and greenhouse gas emissions.

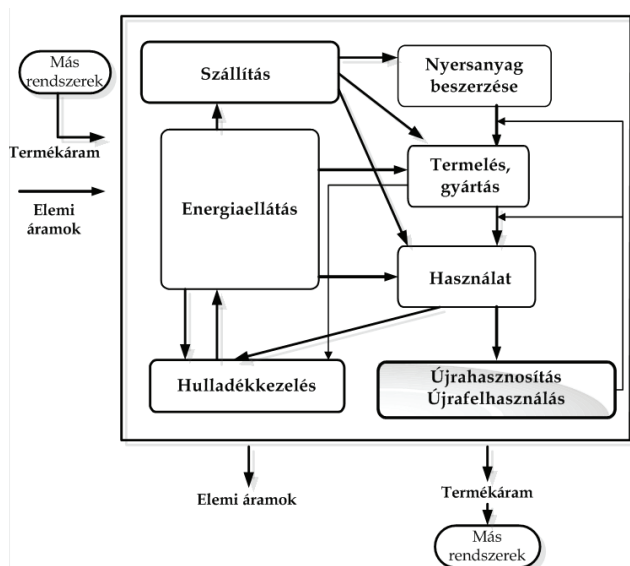
Egy innovatív és környezetbarát beton szerkezeti elem életciklus elemzésére épülő fejlesztése során úgy kell figyelembe vennünk minden termék teljes életciklusát, hogy az életciklus szakaszain belül különös figyelmet fordítunk a hulladékká válás (életút-vége) szakaszra. Az építési szektorra vonatkozó környezetvédelmi terméknyilatkozat megteremti az épületek elemzésének alapját és részletezi a különböző életciklus szakaszokhoz tartozó információ-modulokat. Jelen kutatómunkában az EPD moduljainak figyelembevételével, a beton teljes életciklusának szakaszait dolgoztuk ki részletesen. A betonelemek gyártására vonatkozó életciklus elemzést követő lépések és módszertani megközelítések kidolgozását követően, a normál és nagy szilárdságú betonból készült előregyártott betonelemek életciklus elemzésének eredményeit foglaljuk össze a környezeti hatások számszerűsítése, a teljes primer energiaigény és a kibocsátott üvegházhatású gázok összehasonlítása által. A legfrissebb adatbázissal rendelkező GaBi 8.0 ts szoftver és a kiegészítő építőipari adatbázis az életciklus értékelést alapvető fontosságú eszközként

biztosítja a fenntarthatóbb termelési folyamatok fejlesztése céljából. A Miskolci Egyetem Felsőoktatási és Ipari Együttműködési Központjában megalapított LCA kutatócsoport céljai között alapvetően olyan innovatív technológiák kidolgozása áll, amelyek megoldást nyújthatnak a környezetbarát és az optimális mérnöki megoldások elméleti és gyakorlati megvalósítására. Jelen kutatómunka szervesen kapcsolódik a Miskolci Egyetem LCA-alapú kutatásaihoz és rendkívül időszerű, mivel az életciklus elemzések alkalmazásával a megelőzés és a kimerülő forrásokkal történő takarékoság kerül előtérbe.

Életciklus elemzés szerepe

Egy termékrendszer lényeges tulajdonságát alapvetően funkciója jellemzi, ami nem határozható meg kizárólag csak a végtermékek tekintetében. A termékrendszerek olyan egységfolyamatokra oszthatók, amelyek a termékrendszerek termékáramai (köztes termékek és/vagy a kezelendő hulladék) által kapcsolódnak egymáshoz. Az elemi folyamatok magukban foglalják az erőforrások használatát és a rendszerhez kapcsolódó levegő, víz és földterületek kibocsátását. Az életciklus elemzés (LCA) egy termék teljes életciklusát veszi figyelembe a nyersanyag kitermelésétől és felvásárlásától kiindulva az energia- és anyaggyártáson keresztül az felhasználásán át a belőle képződő hulladék ártalmatlanításáig és a végső elidegenítés szakaszáig. Azaz szisztematikusan értékeli a termékrendszerek környezetvédelmi szempontjait és hatásait a kitűzött cél és hatókör figyelembevételével. Az LCA alapját képező készletelemzés (LCI) a bemenet és kimenet közötti anyagmérlegen alapul, ezért fontos az, hogy össze tudjuk kapcsolni a termékrendszer minden elemét az anyag- és energiaáramláson keresztül. Az energiaáramok számításánál figyelembe kell vennünk az alkalmazott, különféle tüzelőanyagokat és villamosenergia-forrásokat, az energiaáramlás átalakításának és elosztásának hatékonyságát, valamint annak létrehozásához és felhasználásához kapcsolódó inputokat és outputokat. Az életciklus hatásvizsgálat (LCIA) célja, az esetleges környezeti hatások jelentőségének értékelése az LCI eredményekkel, amelyek kapcsán az LCIA az LCI eredményeket különböző környezeti hatáskategóriákhoz rendeli. Az LCIA tájékoztatásokat nyújt az életciklus-értelmezési szakaszban és egy LCA-alapú terv felállítása során is kulcsfontosságú. Az LCA mindig egy funkcionális egység köré szerveződik, ami meghatározza azt, hogy mit vizsgálunk. Minden további elemzés ezt követően az adott funkcionális egységtől függ, mivel az LCI és az LCIA profil összes bemenete és kimenete az adott funkcionális egységhez kapcsolódik. Az LCA különbözik számos más technikától (pl. környezetvédelmi teljesítményértékelés, környezeti hatásvizsgálat és kockázatértékelés), mivel egy funkcionális egységen alapuló relatív megközelítés, de ugyanakkor felhasználhatja az egyéb technikák által összegyűjtött információkat. Az LCA eredményeit és következtetéseit megfelelő formában kell közölnünk a célközönség számára, foglalkozva az LCA tanulmányban alkalmazott adatokkal, módszerekkel és feltevésekkel, valamint ezek korlátozásával.

¹ A cikk a KLENEN '19 konferencián elhangzott előadás alapján készült.



1. ábra. Példa egy LCA termékrendszerre

Az LCA elemzések birtokában lehetőségünk nyílik az egyes technológiák környezeti hatásainak vizsgálatára, ezért alkalmazása elsősorban az egymást helyettesítő termékek és eljárások esetén a legcélravezetőbb. Segítségével számszerűsíthető az, hogy egy adott technológia vagy egy adott termék teljes élettartama során milyen környezeti terheléseket okoz, illetve milyen és mennyi természeti erőforrást használ fel, beleértve az energiakiadásokat is.

Beton megkülönböztetése és teljes életciklusa

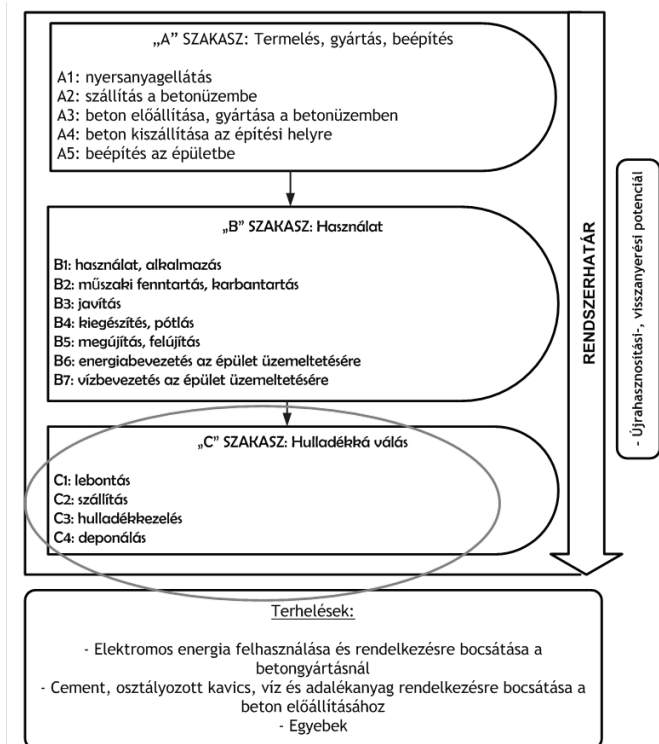
A betonok hengerpróbával minősített szilárdságát 300 mm magas és 150 mm átmérőjű, végig víz alatt tárolt próbahengerrel végzik. Az európai szabvány szerint a betonok szilárdságát kockaszilárdságukkal is meg kell adni, ahol a kockaszilárdságot 150 mm él hosszúságú próbakockán határozzák meg. A szilárdsági osztályt a beton jele utáni számok (hengersizilárdság/kockaszilárdság) jelölik. A hatályos szabvány szerinti jelölésnél fel kell tüntetni a henger- és a kockaszilárdságot, az adalékanyag legnagyobb megengedett szemcseméretét és a konzisztenciát a területi osztályokkal. A beton konzisztenciája elsősorban a frissbeton keverhetőségét, szállíthatóságát, bedolgozhatóságát, tömöríthetőségét és állékonyságát befolyásolja. Az érvényben lévő MSZ EN 206-1:2002 szabvány a konzisztencia osztályokat betű és szám kombinációval jelöli, azaz a betonok vízzáróságát, fagyállóságát és kopásállóságát mutató mérőszám is megjelenhet a konzisztencia osztály jele után a különböző környezeti hatások szerinti osztályba sorolást illetően. Könnyűbetonoknál feltüntetjük a beton sűrűségét is (pl. LC1600-10-16/K-LC, teherbíró könnyűbeton). Test-sűrűségüket tekintve az 1. táblázat szerint különböztethetjük meg a betonokat. A használati élettartam alatt (üzemszerű használat mellett) a beton akkor lesz tartós, ha a környezeti hatásokat jelentős károsodás nélkül viseli. Amennyiben a betont többféle környezeti hatás éri, akkor a környezeti osztályok kombinációját kell alkalmazni.

1. táblázat. Betonok megkülönböztetése testsűrűségük alapján

Megnevezés	Beton jele	Sűrűség [kg/m³]	Alkalmazási terület
Könnyűbeton	LC	800-2000	Hőszigetelő szerkezetek beépítésénél, megfelelő adalékanyag hozzáadása mellett.
Normál beton	C	2001-2600	Napjaink legfontosabb betonja a szerkezeti beton.
Nehéz beton	HC	>2600	Főként sugárvédelmi feladatokat lát el.

A 2. ábrán a beton teljes életciklusát láthatjuk az alkalmazott EPD modulok alapján. A beton előállításához nélkülözhetetlen termékáram, a cement teljes életciklusát bemutató folyamatábrát egy korábbi kutatási tanulmányunk ismerteti. A beton teljes életciklusa három fő szakaszból áll, amelynek értékelése során számos tényezőt és terhelést kell figyelembe vennünk. A betonelemek gyártásakor használt zsaluzat a beton megszilárdulását követően, könnyen eltávolítható formaleválasztó olaj alkalmazásával. A fából készült zsaluzat akár 20-szor, az acélzsaluzat kb. 700-szor hasznosítható újra. Mivel a nagy szilárdságú betonelemeknél a faszaluzat részaránya alacsony, ezért a nagy szilárdságú betonelemek életciklus értékelésénél ez az input áram elhanyagolható. Ugyanakkor az acélzsaluzatot sem vesszük figyelembe a nagy szilárdságú betonelemek életciklusánál. A normál szilárdságú betonelemek életciklus értékelésében is elenyészően kicsi a mértékük. Példaképpen keverőben keverünk össze cementet (4-16 mm, CEM I 52,5 R), homokot (0-4 mm), vizet, adalékszerkeket és adalékanyagokat betontípusától függően. Adalékanyagokat nagyobb mennyiségben adunk bizonyos tulajdonságok javításához vagy eléréséhez: ásványi finomanyagok, (más néven töltőanyagok), mint például a kőzetliszt, a puzzolánok, a pigmentek és a szerves anyagok. Adalékszerkeket kis mennyiségben adunk, amelyek fizikai és/vagy kémiai hatással befolyásolják a beton bizonyos tulajdonságait. Az adalékszerkezekhez tartoznak a folyósító szerek, a levegőképző szerek, a gyorsítók, a retarderek stb.. Folyósítóként a betongyárakban gyakran polikarboxilátokat használnak. Feltételezzük azt, hogy a gyártócsarnok tisztításához a betongyártással együtt, kis mennyiségű vizet használunk. Szennyvíz csak kis mennyiségben keletkezik, mivel a mosóvizet a betongyártásra visszaforgatjuk és részben el is párolog. Hulladékként iszap keletkezik, ami hulladéklerakóra kerül. A betonacél és a beton újrafeldolgozásra kerül. A beton és a betonacél újrahasznosítási költségei nem terhelik a betonelemek gyártását, ezért nem jelennek meg az életciklus-készletben. A betonelem felülete átdolgozásra és tárolásra kerül, mielőtt a betonelemet az építési területre szállítjuk. A szállításhoz fa szükséges a betonelemek zárolásához, ami a többi építési hulladékkal együtt hulladék égetőműbe kerül. A környezeti hatások mérlegelésénél az ökológiai hiány (az aktuális helyzet és a kitűzött cél különbségéből adódó érték) módszerét alkalmazzuk, amelynek során a disszipatív erőforrás-felhasználást értékeljük (a mozgás és időbeli változás során a rendszer teljes energiáját folyamatosan csökkenti valamilyen veszteségekkel járó folyamat).

Ami az anyagi felhasználást illeti, nem az erőforrások kinyerése számít, hanem az a tény, hogy az extrahált és feldolgozott erőforrások milyen mértékű elvesztése következik be, és így már az nem áll rendelkezésre a jövőbeni felhasználásra. A disszipatív felhasználást erőforrás-korrekciókat használva modellezzük az életciklus elemzésekben. Amennyiben a fémek 100%-os mértékben újrahasznosíthatók, akkor az erőforrás-korrekciót a fémhányadhoz viszonyítva célszerű megadnunk. Ha a beton 90%-os mértékben újrahasznosítható, akkor az erőforrás-korrekciót a kavics- és homoktartalom 90%-os hányadára alkalmazzuk. A primer energiafogyasztásra és



2. ábra. Beton teljes életciklusa

az üvegházhatást okozó gázok kibocsátására vonatkozó mutatókat ezek az erőforrás-korrekciók nem befolyásolják. A kritikus terhelések meghatározása a hatályos környezetvédelmi jogszabályok és a nemzetközi környezetvédelmi megállapodások alapján történik.

Előregyártott betonelemek életciklus elemzésének feltételei

Az előregyártott betonelemek jobb minőségűek és lényegesen könnyebbek lehetnek, mint az építési helyszínen előállított szerkezeti elemek. Amíg az előregyártott betonfalak vékonyabbak (80-160 mm), addig az építési helyszínen előállított betonfalak 180-260 mm vastagságúak. A betonelemek gyártására vonatkozó életciklus elemzések során különbséget kell tennünk a normál szilárdságú betonból készült statikus alsó betonelemek (homlokzati elemek, lépcsők, liftakna) és a magas szilárdságú (nagy teherbírású) betonból készült teherhordó betonelemek (pl. oszlopok, pillérek) között. A nagy szilárdságú betonelemek gyártásához felhasznált kavics, homok, cement, folyósító és formaleválasztóanyag mennyisége eltér a normál betonból készült betonelemekétől. A nagy szilárdságú betonelemek általában sokkal nagyobb megerősítéssel és magasabb cementtartalommal rendelkeznek, mint a normál szilárdságú betonelemek. Amíg 1 m³ nagy szilárdságú betonból készült előregyártott betonelem 300 kg acél megerősítést és 575 kg cementet tartalmaz, addig 1 m³ normál betonból előállított betonelem 82 kg acélt és átlagosan 355 kg cementet tartalmaz. A nagy szilárdságú betonelemek speciális alkalmazási körben használatosak, míg a normál betonból készült betonelemek nem olyan rugalmasak és kevésbé fontos teherbíró funkciókat látnak el. A nagy szilárdságú betont elsősorban acél zsaluzatokban előállított oszlopelemekhez használják. (Kisebb darabszámú, egyedi készítésű termékekhez a nagy szilárdságú betonnál is használnak faszaluzatot). Egy betonelem életciklus elemzése során az alábbiakban felsorolt szabályozási háttérrel és szabványokat célszerű figyelembe vennünk:

- Építési szektorra vonatkozó EPD és információ modulok
- ISO 14025:2006
- Alapvető termékkategória szabályok (PCR)
- ISO 14040:2006
- ISO 14044:2006
- ISO 14045:2012
- EN 15804
- MSZ EN15978:2012+A1:2014
- Környezeti kritériumok a környezetvédelmi jogszabályokkal összhangban
- MSZ EN ISO 14020:2002 (környezeti címkék és nyilatkozatok)

Az épületek több alkotóelemét olyan előregyártott betonelemekként szállítják sokszor az építkezésekre, amelyekre vonatkozóan alapvetően hiányoznak a megfelelő környezeti terhelések mértékei. A nagy szilárdságú és normál betonból készült betonelemek életciklus értékelésénél figyelembe kell vennünk a betonkeverés silóit, a keverőt, a szállítószalagokat és a termelési csarnokot is. Az életciklus leltárnál olyan üzemeltetést feltételezhetünk, amely évente 100.000 tonna betont termel 50 éven keresztül. Az LCA elemzések kapcsán fontos megjegyeznünk azt, hogy mivel a normál betonelemekre vonatkozó LCA adatbázis szélesebb, ezért a nagy szilárdságú betonból készült előregyártott betonelemeknél a normál betonból előállított betonelemek gyártására vonatkozó átlagértékek használatosak.

Előregyártott betonelemek életciklus elemzésének eredményei

Annak érdekében, hogy egy építmény a környezeti hatások szempontjából teljes mértékben vizsgálható legyen (pl. 1 főre jutó üvegházhatású gáz, t egyenérték/fő/év), ismernünk szükséges az előregyártott betonelemek életciklus értékelési adatait. A környezeti hatások a környezeti hatáspontok (ökológiai hiány módszere), a primer energia, a megújuló és a nem megújuló energiaforrások, illetve az üvegházhatású gázok kibocsátása (IPCC 2013) által számszerűsíthetők. Az LCA elemzések eredményei egyértelműen az építőanyagok és a felhasznált anyagok erőforrás- és energiatakarékos használatát szolgálják. Az előregyártott betonelemek gyártására vonatkozó javasolt referenciaérték: 1 m³.

LCA eredmények - Nyersanyagok ellátása:

- Az acél megerősítés a nagy szilárdságú betonelemeknél nagyobb környezeti terhelést (kb. 65% a teljes környezeti terhelésből) okoz a normál szilárdságú betonelemekhez képest, ahol a terhelés mértéke 40%. Az acél megerősítés nem rendelkezik magasabb primer energiaigénnyel a normál betonból készült betonelemeknél.
- Amíg a portlandcement (CEM I) környezeti terhelése a nagy szilárdságú betonelemeknél 26% az összerterheléshez viszonyítva, addig ez az érték már 36% a normál szilárdságú betonelemeknél. A portlandcement környezeti terhelése 97%-os mértékben a klinkergyártási folyamatból származik. A klinkergyártás üvegházhatású gázkibocsátása domináns a nagy és normál szilárdságú előregyártott betonelemek összes üvegházhatású gázkibocsátását illetően.
- Az adalékanyagok magasabb környezeti hatást fejtenek ki a normál szilárdságú előregyártott betonelemeknél (a teljes mennyiséghez képest 11%), mint a nagy szilárdságú előregyártott betonelemeknél (4%). Alapvetően több adalék-

anyagot használnak a normál betonból készült előregyártott betonelemekhez. Az adalékanyagok az elsődleges energiaigényt csak kis mértékben befolyásolják.

- A termeléshez szükséges energia és mindenekelőtt a villamos energia, viszonylag fontos szerepet játszik mindkét termékénél, de az előregyártott betonelemek előállításához hasonló mennyiségű villamos energiát igényel.
- Az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásának kisebb, de jelentős hányada az előregyártott betonüzemek fűtéséhez és a meleg vízellátáshoz szükséges fűtőolajból származik.

LCA eredmények - Beton gyártása:

- Az üvegházhatású gázok kibocsátását vizsgálva, a betongyártás során a nagy szilárdságú betonelemeknél 755 kg CO₂-egyenértéket, a normál szilárdságú betonelemeknél 434 kg CO₂-egyenértéket kapunk.
- A nem megújuló primer energiák tekintetében, a nagy szilárdságú betonelemeknél 7.520 MJ olaj-egyenértéket, a normál szilárdságú betonelemeknél 4.088 MJ olaj-egyenértéket kapunk.
- A megújuló primer energiák vonatkozásában, a nagy szilárdságú betonelemeknél 552 MJ olaj-egyenértéket, a normál szilárdságú betonelemeknél 743 MJ olaj-egyenértéket kapunk.

LCA eredmények - Beton ártalmatlanítása:

- Az üvegházhatású gázok kibocsátását vizsgálva, a beton ártalmatlanítása kapcsán a nagy szilárdságú betonelemeknél

30,5 kg CO₂-egyenérték, a normál szilárdságú betonelemeknél 288 kg CO₂-egyenérték a jellemző.

- A nem megújuló primer energiák tekintetében, a nagy szilárdságú betonelemeknél 490 MJ olaj-egyenértéket, a normál szilárdságú betonelemeknél 463 MJ olaj-egyenértéket kapunk.
- A megújuló primer energiák vonatkozásában, a nagy szilárdságú betonelemeknél 20,3 MJ olaj-egyenértéket, a normál szilárdságú betonelemeknél 19,02 MJ olaj-egyenértéket kapunk.

A beton teljes életciklusának főbb szakaszaiban fellépő környezeti terhelések típusát és mértékét, a primer energiaigény nagyságát, illetve a keletkező hulladékáramok sorsát a 2. táblázat foglalja össze a teljesség igénye nélkül. Összefoglalásként elmondható az, hogy 1 m³ beton ártalmatlanításának környezeti terhelése kevésbé függ a betonelemek sűrűségétől. Az üvegházhatású gázok, a nem megújuló energia és a megújuló energiák tekintetében, csak minimális különbségek figyelhetők meg a különböző szilárdságú betonelemeknél, a normál szilárdságú betonelemek javára. Alapvető különbségek a betongyártási folyamatra vezethetők vissza, mivel mindkét előregyártott betontermék ugyanazzal a kezelési adatrekorddal került modellezésre. Betongyártásnál az üvegházhatású gázok kibocsátását illetően, 1,74 szorzótényezőt kapunk a nagy szilárdságú betonelemek hátrányára. Valamennyi vizsgált környezeti hatáskategória tekintetében a nagy szilárdságú betonból készült betonelemek lényegesen nagyobb (közel 60%-kal magasabb) környezeti intenzitást mutatnak, mint a normál betonból ké-

2. táblázat. Környezeti terhelések és hulladékáramok sorsa a beton életciklusa során

Környezeti terhelések keletkezési helye	Nagy szilárdságú betonelemek	Normál szilárdságú betonelemek
Nyersanyagok ellátása, szállítása (A1-A2 szakaszok)		
Acél ellátás	65% a teljes környezeti terhelésből.	40% a teljes környezeti terhelésből.
Portlandcement ellátás	26% a teljes környezeti terhelésből.	36% a teljes környezeti terhelésből.
Adalékanyagok ellátása	4% a teljes környezeti terhelésből. Kis mértékben járulnak hozzá az üvegházhatású gázok kibocsátásához és a primer energiaigényhez.	11% a teljes környezeti terhelésből. Kis mértékben járulnak hozzá az üvegházhatású gázok kibocsátásához és a primer energiaigényhez.
Nyersanyagok szállítása a betonüzembe	A cement és az adalékanyagok szállítása gyártó-specifikus adatokkal, az adalékszerkezetek szállítása normál szállítási távolságokon belül történik. A szállítás a szállítási távolság függvényében járul hozzá a környezeti terhelésekhez.	
Beton előállítása, gyártása, szállítása (A3-A4 szakaszok)		
Zsaluzat	A faszaluzat kb. 20-szor, az acélzsaluzat kb. 700-szor hasznosítható újra. Nem célszerű figyelembe vennünk a betonelemek életciklusánál.	
Fűtőolaj használat	Jelentős hányadú üvegházhatású gáz kibocsátása a betonüzem fűtéséhez és a meleg vízhez szükséges fűtőolajból.	
Termeléshez szükséges villamos energia	Fontos szerepet játszik. Mennyisége azonos a nagy és normál szilárdságú betonelemeknél.	
Betongyártás és gyártó-csarnok tisztítása	A gyártócsarnok tisztításához a betongyártással együtt, kis mennyiségű vizet használunk. Szennyvíz csak kis mennyiségben keletkezik, mivel a mosóvizet a betongyártás visszaforgatjuk és részben el is párolog. Hulladékként iszap keletkezik, ami hulladéklerakóra kerül.	
Betonelemek szállítása az építési területre	A rögzítéshez szükséges fa és az acélbeton szállítása normál szállítási távolságokon belül történik. A szállítás a szállítási távolság függvényében járul hozzá a környezeti terhelésekhez. A szállításhoz szükséges fa hulladék égetőműbe kerül, az acél újrahasznosítható.	
Hulladékká válás (C szakasz)		
Épület lebontása	A megerősítés teljes mértékben újrahasznosított acél. A lebontott elemek építési hulladékként ártalmatlanításra kerülnek. Hulladék égetőműben történő égetés esetén nagyobb környezeti terhelés!	
Beton ártalmatlanítása	5,6% a funkcionális egységre vonatkoztatott környezeti hatásokból. (funkcionális egység: 1 m³ beton) Összes primer energia: 510 MJ olaj-egyenérték.	11,2% a funkcionális egységre vonatkoztatott környezeti hatásokból. (funkcionális egység: 1 m³ beton) Összes primer energia: 482 MJ olaj-egyenérték.

szült betonelemek, azaz a nagy szilárdságú betonelemek jelentősen magasabb környezeti szennyezést okoznak. Az előregyártott betonelemekre vonatkozó összes primerenergia-szükséglet közötti különbség nem olyan nagy, mint a környezeti hatáskategóriákat illetően. A nem megújuló primer energiák tekintetében, a nagy szilárdságú betonból készült betonelemek 54%-kal magasabb környezeti intenzitást mutatnak. A megújuló primer energiák vonatkozásában, a nagy szilárdságú betonból készült betonelemek 74%-kal magasabb környezeti intenzitást mutatnak, mint a normál betonból készült betonelemek.

Összefoglalás

Egy technológia környezetbarát jellegének eldöntése komplex feladat és csak körültekintő elemzések után jelenthetjük ki egy technológiáról, hogy környezetbarát. Hosszútávon azok a környezetbarát és energiahatékony technológiák a leggazdaságosabbak, amelyek bevezetése és fejlesztése során nő egy vállalat gazdasági termelékenysége és innovációs mutatója. Tekintettel arra, hogy a bevezetett termékek és az alkalmazandó technológiák között prioritásokat is meg kell fogalmaznunk, ezért elengedhetetlen feladat az egyes termékekre és technológiákra vonatkozó életciklus elemzések bevezetése. A Miskolci Egyetem LCA kutatócsoportjának egyik központi kutatási területét jelenleg az építési szerkezeti elemekre, termékekre és a gyártási technológiák fejlesztésére irányuló LCA-alapú összehasonlító vizsgálatok jelentik. Az előregyártott betonelemek gyártására vonatkozó LCA elemzések során számszerűsítjük a környezeti hatáskategóriákat, majd az összeállított életciklus elemzések bemutatását és a modellezési feltételek dokumentálását követően, a kiértékelt adathalmaz és az ezekből eredő környezeti hatások megvitathatóak. Az életciklus elemzés területén tevékenykedő kutatócsoport eredményei várhatóan nagymértékben hozzájárulhatnak az építési szerkezeti elemek, termékek és a gyártási technológiák környezetvédelmi innovációjához.

Köszönetnyilvánítás

A kutató munka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából.

Irodalmi hivatkozások

- [1] Mannheim, V., Siménfalvi, Z.: LCA kutatások a Miskolci Egyetemen. LCA elemzésekre épülő komplex modell fejlesztése. ECO-Matrix online folyóirat. VI. évfolyam, pp. 38-43. 2018/1-2. ISSN 2061-344X.
- [2] Ökobilanz Betonfertigteile Schlussbericht. Stadt Zürich, Amt für Hochbauten. 2016.
- [3] EN 15804:2012-04, Sustainability of construction works – Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.
- [4] Umwelt-Produktdeklaration nach ISO 14025. Zement. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Institut Bauen und Umwelt e.V., Königswinter, 2012.
- [5] Reiners, J.: Stellung von Zement und Beton in der Nachhaltigkeitsdiskussion. Technisch-Wissenschaftliche Zementtagung, Düsseldorf. 2011.
- [6] Mannheim V., Siménfalvi Z.: Life Cycle Assessment for Waste Management Processes. The 9th annual international experts' conference Enviromanagement. VIII. fejezet, pp. 1-17. 2018. ISBN 978-80-85655-36-0.
- [7] Forrai, J.: A beton minősítések, minőség ellenőrzés. Szakmai tankönyv. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet. 2008.
- [8] Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO/TR 14044:2006. Geneva, Switzerland.
- [9] Environmental labels and declarations – Type III environmental declarations – Principles and procedures ISO 14025:2006. Geneva, Switzerland.
- [10] Cooper, J.S., Godwin, C., Hall, E.S.: Modeling process and material alternatives in life cycle assessments. International Journal of Life Cycle Assessment 13 (2), pp. 115-123. 2008.

SAJTÓKÖZLEMÉNY

Magyar cégek külföldi piacszerzését is segíti a klímafinanszírozás

A kormány 1 milliárd forintot biztosított olyan vállalkozások számára, amelyek innovatív tevékenységükkel a fejlődő országokban telepítenének klímabarát technikákat. A teljes keretösszegből 840 millió forint felhasználásáról már korábban döntés született, a fennmaradó 160 millió forint január végéig érkeztek be pályázatok.

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium egyedi támogatási lehetőséget biztosít a környezetvédelmi szektorban működő, innovatív magyar vállalkozások számára. A vissza nem térítendő támogatás célja, hogy csökkentse a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait, ösztönözze a magyar gazdaság számára előnyös és külgazdasági kapcsolatokat erősítő projektek kivitelezését azokban a fejlődő országokban, amelyek szintén aláírták a Párizsi Megállapodást. A programban a tárca kiemelt figyelmet fordít a nyugat-balkáni régióra, az afrikai és dél-kelet-ázsiai országokra.

A 2016-ban újtárra indított programban eddig összesen 840 millió forinttal támogatott innovatív klímabarát elképzelések között volt fenntartható erdészeti projekt, Afrikában tesztelt innovatív vízmegőrzési technológia, valamint kisvízerőmű tervezése is. Az ázsiai piacon szennyvízhő-hasznosítási megoldások alkalmazását támogatta a minisztérium, több projekt segítette a fenntartható mezőgazdasági termelés bevezetését.

Az ITM nemzetközi klímafinanszírozási pályázata hozzájárul a jelentős anyagi befektetést igénylő innovatív és még ismeretlen technológiák bevezetéséhez, és ezzel a magyar vállalkozások külföldi piacszerzéséhez is. A kiírásnak köszönhetően írhatott alá a közelmúltban szerződést a marokkói forgalmazás elindításáról a Water&Soil Kft., a cég a talajnedvesség megtartását fokozó készítmény elterjesztésére kapott kormányzati támogatást. Az egyezség nyomán a mauritániai, szenegáli és más afrikai országok felé való terjeszkedésre is lehetőség nyílik.

A fennmaradó 160 millió forintos keretre 2019. január 31-ig pályázhattak a magyar vállalkozások. A beérkezett igényeket a szakmai szempontok figyelembe vételével egyenként bírálja el az Innovációs és Technológiai Minisztérium. A további pályázati lehetőségekről a www.klima.kormany.hu/palyazatok oldalon tájékozódhatnak az érdeklődők.

(ITM Kommunikációs Főosztály, sajtoipm@gov.hu)

Várható változások az MSZ EN ISO 50001-ben²

Dr. Zsebik Albin

okl. gépészmérnök, zsebik@jomuti.hu

Az ISO 50001:2011 nemzetközi szabvány készítői a szabvány szellemiségét meghatározó PDCA ciklussal összhangban ellenőrizték alkalmazását és 2018 augusztusában kiadták megújított változatát (ISO 50001:2018). A Magyar Szabványügyi Testület a nemzeti szabványosításról szóló 1995. évi XXVIII. törvény alapján MSZ EN ISO 50001:2019 számmal 2019. január 1-jei hatállyal közzé tette a szabvány angol nyelvű változatát. Az Energiagazdálkodás jelen lapszámának zárásakor folyamatban van a szabvány magyar nyelvű változatának készítése, várhatóan 2019 áprilisában teszik közzé. A KLENEN '19 konferencián a szabvány változásaival foglalkozó előadás, a kerekasztal beszélgetés és jelen közzététel egyrészt tájékoztató jellegű, másrészt azzal a szándékkal készült, hogy lehetőséget adjon a honosított változatban alkalmazásra kerülő szakkifejezések megvitatására.

*

The Energy Management and Energy Savings Technical Committee (ISO/TC 301), verified and technically revised the first edition of the ISO 50001:2011 energy management systems standard in accordance with the PDCA cycle, which defines the spirit of ISO management standards. The second edition – ISO 50001:2018 – was issued in August 2018. The Hungarian Standards Institution – in accordance with the Law XXVIII of 1995 on national standardization – published the English version of the standard under no. MSZ EN ISO 50001:2019 on January 1, 2019.

At the time of closing this issue of the Energy Management Journal, the Hungarian version of the standard was still under preparation and it is expected to be released in April 2019.

The aim of the presentation on the possible changes of the standard, and of the round table discussion at the KLENEN '19 conference, as well as of this publication is to provide information on the changes of the standard and intended to give the opportunity to discuss the technical terms of the standard used in the Hungarian version.

Bevezető gondolatok

A folyamatos fejlesztésre ösztönző Deming, vagy PDCA (Plan – Do – Check – Act) ciklus mindennapi életünkhöz is hasznos útmutató lehet. Az első felét szinte kivétel nélkül mindenki alkalmazza. Nap-tárunk korábbi bejegyzéseire is tekintettel általában már előző este megtervezzük következő napi teendőinket. Ha találkozára megyünk talán még útvonal tervet is készítünk. Nemcsak a szabadságunkra, utazásainkra, de egyéb céllal is szoktunk rövid és hosszú távú terveket készíteni. A terveink megvalósítását számos körülmény befolyásolja. A közlekedési helyzet és az időjárás tőlünk független külső tényezőnek tekinthető. A felkészültségünk egy tárgyalásra, a fizikai és lelki állapotunk, már rajtunk is múlik. Ezért is fontos a hivatkozott ciklus második felére – az ellenőrzésre és a jobbításra – is figyelmet fordítani. Ezt sokszor elhanyagoljuk. Nem jellemző, hogy napnyugtával tudatosan értékeljük miként sikerült megvalósítani terveinket, mik voltak az akadályozó tényezők, mit kell a jövőben másképpen csinálnunk, hogy a napjaink sikeresebben teljenek.

Az ISO 50001:2011 szabvány 2012 márciusában közzé tett magyar nyelvű változata nevét az „Energy management systems” fordításaként kapta. A fordító a „management” szót irányításnak fordította. A fordítást jóváhagyók úgy vélték, hogy így lesz összhangban a már korábban honosított MSZ EN ISO 9001: 2009 Minőségirányítási rendszerek és az MSZ EN ISO 14001:2005 Környezetközpontú irányítási rendszerek szabványokkal.

Az energiahatékonyságról 2015. évi LVII. törvény, az energetikai auditálási kötelezettséget meghatározó 22. §-ában már a következőképpen fogalmaz: „Mentesül a kötelező energetikai auditálás alól az a nagyvállalat, amely az EN ISO 50001 szabványnak megfelelő, akkreditált tanúsító szervezet által tanúsított **energiagazdálkodási rendszert** működtet.” Felvetődik a kérdés, hogy mentesülhet-e a kötelező audit alól az, aki az MSZ EN ISO 50001 szabványnak megfelelő energiairányítási rendszert működteti? Tudjuk, hogy ugyanarról a szabványról van szó, de tapasztaltuk már azt is, hogy bírósági döntések szavakon is múlnak. Tudjuk azt is, hogy a jogértelmezés a jogalkalmazó feladata és felelőssége. Vajon kié lesz a felelősség, ha valaki úgy dönt, hogy „ez a szabvány nem az a szabvány”?

Az Akadémiai Kiadó által kiadott Műszaki Lexikon az **energiagazdálkodás** címszót a következőképpen magyarázza: „a rendelkezésre álló energiaforrások és energiakészletek leggazdaságosabb felhasználásának és kihasználásának biztosítására és megszervezésére, az energiaszükséglet biztonságos és gazdaságos kielégítésére, az energiaveszteségek csökkentésére, a veszteségforrások megszüntetésére irányuló gyakorlati tevékenység.” Ez összhangban van az ISO 50001 szabvány célkitűzésével. Véleményem szerint a szabványt magyarul az irányítási jelző mellőzésével, lehetne egyszerűen **MSZ EN ISO 50001 Energiagazdálkodási rendszerek** szabványnak nevezni. Azonban az ISO 50001 sok más szabványhoz hasonlóan, például (ISO 9001, ISO 1400, ISO 45001 vagy ISO 37001) az irányítási rendszerszabványok közé tartozik, ezért az „irányítási” rendszerek jelzőt a címben mégis meg kell tartani.

A szabványban meghatározó szerepe van az „energy performance” kifejezésnek. Ez a magyar változatban sokak számára zavaró módon, „energiateljesítmény”-ként lett meghatározva.

Annak idején úgy tanultuk, hogy

- az **energia**, **E** az anyagnak a munka végzésére való képessége, az anyag olyan tulajdonsága, amellyel munkát lehet végezni. A munka és az energia rokon fogalom, mértékegysége azonos, Joule (gyakran alkalmazott a kWh);
- a **teljesítmény**, **P** – az egységnyi idő alatt végzett, vagy nyert munka (J/s, kW, LE);
- a felhasznált, vagy hasznosított energia a teljesítmény és az idő, τ szorzata

$$E = P \cdot \tau \text{ [kWh vagy GJ].}$$

Az „energiateljesítmény” szót még akkor sem lenne szabad használni, ha a teljesítményt valamely tevékenység (mérhető) eredményének tekintjük.

Ha a fenti módon nem teszünk különbséget az energia és teljesítmény fogalmak között és az „energiateljesítmény”-t egy eddig

² A cikk a módosított ISO 50001 magyar nyelvű változata készítéséhez és a KLENEN '19 konferenciára vitaanyagként, valamint előzetes olvasói tájékoztatóként készült.

nem használt fogalomként kezdjük használni, azt bizonyítjuk, hogy rosszak voltak középiskolai fizikatanáraink, a főiskolai vagy egyetemi oktatóink, mert nem tudták velünk megértetni az energia és teljesítmény közti különbséget. Az „energiateljesítmény” szó használatáról ugyanakkor az a következtetés is levonható, hogy nem rendelkezik műszaki alapismeretekkel, nem tud különbséget tenni az energia és a teljesítmény fogalmak között. Ennek következménye a kWh és a kW mértékegységek összekeverése, ami sajnos egyre gyakrabban előfordul.

Változások az ISO 50001: 2011-ben

Az ISO 50001 első változatának tekintett szabványhoz képest a felülvizsgálója és a második változat kidolgozója (az ISO/TC 301 Energiagazdálkodás és energiamegtakarítás műszaki bizottság) a 2018. évi szabványban fő változásokként a következőket rögzíti:

- az ISO irányítási rendszerszabványokra vonatkozó követelmények összehangolása, a szabvány szerkezete, alapszövege, valamint a közös szakkifejezések és definíciók tekintetében annak érdekében, hogy nagymértékben hasonlítson a többi irányítási-rendszer szabványhoz;
- jobb illeszkedés a stratégiai irányítási folyamatokhoz;
- a dokumentum szerkezeti és nyelvi pontosítása;
- a felső vezetés szerepének nagyobb hangsúlyozása;
- A szakkifejezések és meghatározásaik tartalmi összefüggés szerinti rendezése a 3. fejezetben és egyes meghatározások korszerűsítése;
- kiegészítés új fogalom meghatározásokkal, mint az energia-gazdálkodási teljesítménynövelés;
- az energiafajták kizárhatóságának egyértelművé tétele;
- az „energiagazdálkodási átvizsgálás” tisztázása;
- az energiaszükséglet mutató és a hozzá kapcsolódó energiaszükséglet alapállapot normalizálására vonatkozó fogalom bevezetése;
- az energiaszükséglet adatgyűjtési tervre és a kapcsolódó követelményekre (korábban energiamérési terv) vonatkozó részletes követelmények bevezetése;
- az energiaszükséglet mutatókkal és az energiaszükséglet alapállapotokkal kapcsolatos szöveg érthetőbbé tétele ezeknek a fogalmaknak a jobb megértése céljából.

A felsorolt változások segítenek a követelmények megértésében, a rendszerek kialakításában, és működtetésében, de a már bevezetett rendszerek dokumentumaikban igényelnek némi szerkezeti átalakítást és elnevezés módosítást.

Várható változások az MSZ EN ISO 50001-ben

A Szabványügyi Testület munkatársai és az MSZT/MB 938 azonosító jelű Energiagazdálkodás Műszaki Bizottság tagjai arra törekednek, hogy a szabvány magyar nyelvű változata, a céljával összhangban, szabatosan fogalmazva, a szakmai körökben használt szakkifejezéseket alkalmazva segítse az alkalmazóit az energiaszükséglet hatékonyságának növelésében.

Az MSZ EN ISO 50001 második változatának követni kell az eredetét, ezért tartalmazni fogja a fentebb ismertetett változtatásokat. Emellett változásokkal lehet számolni a korábban alkalmazott elnevezésekben és rövidítésekben. Az alábbiakban ezekből ismertetünk néhányat.

Várhatóan változni fog a szabvány magyar neve. Az első változat neve „Energiar irányítási rendszerek. Követelmények és al-

kalmazási útmutató” helyett döntésre a következő három név van előkészítve:

1. Energiagazdálkodási rendszerek. Követelmények alkalmazási útmutatóval.
2. Energiagazdálkodás irányítási rendszerek. Követelmények alkalmazási útmutatóval.
3. Energiagazdálkodási irányítási rendszerek. Követelmények alkalmazási útmutatóval.

A Műszaki Bizottság tagjai az MSZT szabályzata alapján szavazással fognak választani az előterjesztett változatok közül. Az MSZT álláspontja szerint az irányítási rendszernek szerepelnie kell a névben, ezért az energiaszükségletéről szóló törvényben szereplő, szakmailag helyesnek tartott 1. sorszámú megnevezés helyett, várhatóan a 3. sorszámú előterjesztés lesz a „befutó”. Ez esetben a korábbi EIR rövidítés helyett **EgIR** rövidítés alkalmazása javasolt. A g betű hivatott felhívni a figyelmet a szabványban bevezetett változásra, s egyben hangsúlyozni, hogy a szabvány nem az energia irányítására, hanem az energiaszükséglet hatékonyságának növelésére törekszik.

A módosított szabvány 3.5. fejezete az energiával kapcsolatos szakkifejezéseket foglalja össze.

Elsőként az „energy” kifejezést a következőképpen magyarázza: „electricity, fuels, steam, heat, compressed air and other similar media”. Megjegyzésként teszi hozzá, hogy: „For the purposes of this document, energy refers to the various types of energy, including renewable, which can be purchased, stored, treated, used in an equipment or in a process, or recovered.”

A szabvány első magyar nyelvű változata ezt a következőképpen határozta meg: „energia” „Villamosság, üzemanyagok, gőz, hő, sűrített levegő vagy más hasonló közeg”. A megjegyzést a következőképpen fordította: „..... az energia szó az energia különböző megjelenési formáira utal, beleértve a megújultat, amely lehet vásárolt, tárolt, kezelt, készülékekben vagy folyamatokban felhasznált, vagy visszanyert”.

A szabvány első és második változatának magyarázata is az energiaszükségletre utal. Nem kellene ez esetben az „energy” szót „energiaszükséglet”-re fordítani? A fentebb hivatkozott műszaki lexikon szerint az „**energiaszükséglet**” címszó a következőt jelenti: „az energia anyagi hordozói, amelyek az energiaszükségletet közvetlenül kielégítik. Ide tartoznak a szilárd, folyékony, gáznemű tüzelőanyagok, villamos energia, hasadó anyagok, inert gázok (levegő, gőz stb.)” A megjegyzés fordítására a következő javasolható: „E dokumentum alkalmazásában az energia a különböző energiaszükségletre vonatkozik, beleértve a megújuló energiaszükségletet is, amelyek megvásárolhatók, tárolhatók, kezelhetők, felhasználhatók egy berendezésben vagy egy folyamatban, vagy visszanyerhetők.”

Elgondolkodtató az „energy consumption” és az „energy use” fordítása is. Az értelmezésére is tekintettel helyes volt-e a fentiekre az „energiaszükséglet” és „energiaszükséglet” fordítása? Az energiaszükséglethez az „alkalmazott energia mennyisége”, az energiaszükséglethez „az energia alkalmazásának módja és fajtája” kiegészítést tettek és példaként sorolták fel, hogy: „Szellőztetés; világítás; fűtés; hűtés; szállítás; folyamatok, gyártósorok”.

Ha azt tanítjuk, hogy az energia nem fogy el, csak átalakul, az energiaszükséglet törvények fontos szerepet kapnak az energetikai elemzésekben, az energiaszükséglet-feltárásban, célszerű lenne elkerülni az „energiaszükséglet” alkalmazását és helyette az energiaszükségletet lenne célszerű használni az „energy

consumption” fordításaként. Amint azt fentebb írtuk, a szabvány első magyar nyelvű változatában az energiafelhasználás az „energy use” fordításaként lett használva, de a példaként felsorolt „szellőztetés; világítás; fűtés; hűtés; szállítás; folyamatok, gyártósorok” arra utal-e, hogy az energiát a szellőztetésre, világításra, fűtésre, hűtésre stb. hasznosítjuk / használjuk? Ha igen, helyesebbnek tűnik az **energiahasznosítás** fogalom alkalmazása.

Egyértelmű az „energy efficiency” energiahatékonyságra történő fordítása. Várható azonban, hogy a magyarázata megváltozik. Az első változatban magyarázat a következő: „Arány, vagy más mennyiségi kapcsolat, egy teljesítmény-, szolgáltatás-, termék-, vagy más energiakimenet és egy energiabemenet között”. A másodikban magyarázat várhatóan a következő lesz: „A teljesítményben, a szolgáltatásban, a termékben vagy az energiában kifejezett eredmény és a befektetett energia hányadosa, vagy egyéb mennyiségi összefüggés”. Megváltozik a példa és a megjegyzés szövege is.

PÉLDA: átalakítási hatások, illetve hatékonyság; hasznos energia/felhasznált energia.

Megjegyzés: A bemenetet és a kimenetet mind mennyiség, mind minőség tekintetében egyértelműen kell meghatározni és mérhetőnek kell lenniük.

A magyar változat készítése során hosszabb megbeszélés tárgyát képezte az „energy review” értelmezése és magyarra fordítása. Tekintettel arra, hogy nem az energiát, hanem az energiagazdálkodást kell át-, vagy felvizsgálni, az energiagazdálkodás fogalom használata egyértelmű volt. Tekintettel arra, hogy a szabvány szerint bevezetett rendszer akkor lesz eredményes, ha megalapozott energiavesztés-feltáráson alapul, az át- és felülvizsgálás mellett felvetődött az energiavesztés-feltárási fogalom alkalmazása is. Elsősorban a más rendszerekkel foglalkozó szabványokra tekintettel várhatóan az **„energiagazdálkodási átvizsgálás”** név, a magyarázatként a következő szöveg kerül a szabványba: „Az energiahatékonyság, az energiahasznosítás és az energiafelhasználás adatokon és egyéb információkon alapuló elemzése, amely a jelentős energiahasznosítások és az energiagazdálkodási teljesítménynövelés lehetőségeinek azonosítására vezet.”

A teljesítménnyel kapcsolatos szakkifejezéseket a módosított szabvány 3.4. fejezete tartalmazza. (3.4. Terms related to performance).

A mérés meghatározását követően a fejezet a „performance” kifejezést magyarázza. Mérhető eredményként határozza meg, s megjegyzésként teszi hozzá, hogy kapcsolódhat

1. „akár mennyiségi, akár minőségi megállapításokhoz”, valamint
2. „a tevékenységek irányításához, folyamatokhoz, termékekhez (beleértve a szolgáltatásokat), rendszerekhez vagy szervezetekhez”.

Alkalmazzuk rá a **teljesítmény** fogalmat a fentiek szerint értelmezve.

Nézzük viszont az „energy performance” fordítását. A szabvány első változatában „energiateljesítmény”-ként lett magyarra fordítva. Az elnevezésről folyó vitában a fordítás szövegűségéhez ragaszkodók szerint a teljesítmény szónak mindenképpen szerepelnie kell a magyar változatban. Ha ehhez ragaszkodunk, a bevezetőben említettekkel összhangban az „energiateljesítmény” helyett elfogadhatóbbnak tekinthető az **„energiagazdálkodási teljesítmény”** használata. Az „energiateljesítmény mutató”, ETM helyett az **„energiagazdálkodási teljesítmény mutató”, EgTM** alkalmazása.

Ehhez közeli és eldöntendő az „energy performance improvement” értelmezése és fordítása. Vita alakult ki abban, hogy a teljesítményt fejlesztjük, javítjuk, vagy növeljük. Ha elfogadjuk, hogy a szabvány célja az energiagazdálkodási teljesítmény növelése, véleményem szerint a növelést kellene alkalmazni. Fejlesszük a gépeket, berendezéseket, technológiai folyamatokat, hogy jobb legyen az energiaátalakítás és hasznosítás hatásfoka, javítsuk meg a gépeket, berendezéseket, ha elromlanak, (tervszerű, megelőző karbantartással előzzük meg meghibásodásukat), s mindezekkel járuljunk hozzá az **energiagazdálkodási teljesítmény növeléséhez**.

A módosított szabványban új fogalomként jelenik meg az „energy performance indicator value, EnPI value”. Ha elfogadásra kerül az „energiagazdálkodási teljesítménymutató, EgTM” kifejezés és rövidítése, akkor csak az „érték” szót kell hozzátenni. A magyarázata: **Az energiagazdálkodási teljesítménymutató értéke** „az EgTM egy időpontban vagy egy adott időtartam alatt meghatározott számszerű mennyisége.”

Az „energy baseline”-t sokan bázisértéknek nevezik. „Energialapállapot”-nak lett nevezve az első magyar nyelvű változatban. A fentiekkel összhangban az új szabványban várhatóan **„energiagazdálkodási alapállapot, EgA”** lesz. Megváltozik magyarázatának szövege is. A következő lesz: Az energiagazdálkodási alapállapot „az energiagazdálkodási teljesítmény viszonyítási alapját képező mennyiség(ek).”

Kapcsolódó megjegyzések:

1. Az energiagazdálkodási alapállapot a szervezet döntése szerint meghatározott időtartamhoz és/vagy feltételekhez tartozó adatokon alapul.
2. Egy vagy több energiagazdálkodási alapállapotot kell a megelőző és a későbbi állapot viszonyításaként az energiagazdálkodási teljesítménynövelés meghatározásához alkalmazni az energiagazdálkodási teljesítményt növelő intézkedések végrehajtásával vagy anélkül.
3. Az energiagazdálkodási teljesítmény mérésére és igazolására (verifikálására) vonatkozó további tájékoztatást az ISO 50015 tartalmaz.
4. Az EgTM(ek)-ről és az EgA(k)-ról további tájékoztatást az ISO 50006 tartalmaz.

Új fogalomként jelenik meg az **állandó tényező** (static factor) és a **lényeges változó** (relevant variable).

Az első olyan azonosított tényező, amely jelentősen befolyásolja az energiagazdálkodási teljesítményt, de **nem változik rendszeresen**. Ilyen a létesítmény mérete; a telepített berendezések kialakítása; a heti műszakok száma; a termékkör.

A második olyan számszerűsíthető változó, amely jelentősen befolyásolja az energiagazdálkodási teljesítményt és **rendszeresen változik**. Ilyenek az időjárási viszonyok, működési feltételek (belső hőmérséklet, megvilágítási szint), munkaidő, termelési teljesítmény. E változók teszik lehetővé az energiagazdálkodás tervezése során az alapállapotként meghatározott teljesítménymutatóknak a tényleges állapotokhoz történő korrigálását, - a szabvány szerint **„normalizálását”**.

A jelentőség kritériumait mindkét esetben a szervezet határozza meg.

A szabványban a normalizálás (normalization) magyarázata: „Az adatoknak a változások kimutatását célzó módosítása, amely lehetővé teszi az energiagazdálkodási teljesítmény azonos feltételek közötti összehasonlítását.”

Az energiagazdálkodási irányítási rendszer szabványban alkalmazott szakkifejezések betűrendes mutatója (zárójelben további javaslatokkal)

3.3.8.	audit	audit	3.5.4.	energy use	energiahasznosítás
3.1.3.	boundary	határ			(használat ??)
3.4.12.	competence	felkészültség (szakértelem??)	3.1.5.	interested party, stakeholder	érdekelte fél, érintett
3.3.2.	conformity	megfelelőség	3.2.1.	management system	irányítási rendszer
3.4.16.	continual improvement	folyamatos fejlesztés	3.4.1.	measurement	mérés
3.3.4.	corrective action	helyesbítő intézkedés	3.3.7.	monitoring	figyelemmel kísérés
3.3.5.	documented information	dokumentált információ	3.3.3.	nonconformity	nemmegfelelőség
3.4.14.	effectiveness	eredményesség	3.4.10.	normalization	normalizálás
3.5.1.	energy	energia	3.4.13.	objective	cél
3.4.7.	energy baseline, EnB	energiagazdálkodási alap- állapot, EgA	3.1.1.	organization	szervezet
			3.3.9.	outsource	kihelyez (kiszervez??)
3.5.2.	energy consumption	energiafelhasználás	3.4.2.	performance	teljesítmény
3.5.3.	energy efficiency	energiahatékonyság	3.2.3.	policy	politika (irányvonal ??)
3.2.2.	energy management system, EnMS	energiagazdálkodási irányítási rendszer, EgIR	3.3.6.	process	folyamat
3.1.4.	energy management system scope	energiagazdálkodási irányítási rendszer alkalmazási területe, EgIR-alkalmazási terület	3.4.9.	relevant variable	jelentős változó
	EnMS scope		3.3.1.	requirement	követelmény
3.2.5.	energy management team	energiagazdálkodási csoport	3.4.11.	risk	kockázat
3.4.3.	energy performance	energiagazdálkodási teljesítmény	3.5.6.	significant energy use, SEU	jelentős energiahasznosítás (használat) (JEH))
					állandó tényező
3.4.6.	energy performance improvement	energiagazdálkodási teljesítménynövelés (javítás??)	3.4.8.	static factor	
3.4.4.	energy performance indicator, EnPI	energiagazdálkodási teljesítménymutató, EgTM	3.1.2.	top management	felső vezetőség (vezetés ??)
3.4.5.	energy performance indicator value, EnPI value	energiagazdálkodási teljesítménymutató érték			
3.2.4.	energy policy	energiagazdálkodási politika (irányvonal??)			
3.5.5.	energy review	energiagazdálkodási átvizsgálás			
3.4.15.	energy target	energiagazdálkodási előirányzat			

Az EN ISO 50001:2018 szabvány magyar nyelvű változatának előkészítésében jelentős szerepet vállaltak: Bariczné Darabos Andrea, Czimer Gáborné, Kassainé Kapa Noémi, Ugrayné Litauszki Erzsébet. Köszönet munkájukért!

Forrás

- [1] EN ISO 50001:2011
- [2] MSZ EN ISO 50001:2012
- [3] EN ISO 50001:2018
- [4] MSZ EN ISO 50001:2019 előkészítés alatti változat.
- [5] Polinszky K. és szerzőtársai: Műszaki Lexikon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970.
- [6] Juhász J. és szerzőtársai: Magyar értelmező kéziszótár. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1972.

Plenáris ülést tartott az Energetikai Innovációs Tanács

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium (ITM) által tavaly októberben életre hívott Energetikai Innovációs Tanács (EIT) 2019. január 30-án tartotta első plenáris ülését. Az eseményen az EIT hét munkacsoportjának vezetői ismertették munkájuk eddigi eredményeit a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat Dísztermében megjelent közel száz fős szakértői körnek.

Az EIT hét munkacsoportban – rendszerirányítási és hálózati oldali rugalmasság, változó fogyasztói igények, energiatárolás, megújuló alapú energiatermelés, nem konvencionális szénhidrogén-kitermelés, nukleáris energiatermelés, energiahatékonyság – dolgozik a hazai energetikai innovációs lehetőségek feltérképezésén, és az innovatív megoldások használatát ösztönző szabályozási környezet kialakításán.

A tanácskozáson kiemelt téma volt a megújuló áramtermelő és az energiatároló-technológiák (P2G, akkumulátorok) rendszerbe illeszthetőségének és rendszerszabályozásban való részvételének mikéntje, az időjárásfüggő áramtermelés előrejelzése és menetrendezése, illetve az okos hálózati megoldások alkalmazása.

A felszólalók a változó fogyasztói igények kapcsán kiemelt jelentőséget tulajdonítottak az egyszerű ügyintézésnek és a digitalizációnak. A fejlődés további fontos iránya lehet a smart home megoldások elterjesztése, az egyszerre energiatermelő és -fogyasztó (ún. prosumer) szemlélet kialakulásának elősegítése, valamint az összetett, fogyasztó oldali „rugalmassági termékek” használatának ösztönzése. Fokozott érdeklődés mutatkozott az energiafogyasztást optimalizáló modern szolgáltatási csomagokra is, továbbá az elektromobilitás és – az okos közvilágítás, a szenzorokon és mérőkön alapuló egyéb okos szolgáltatások, valamint a városi szintű energiamedzszmentel elemelt ötvöző – smart city koncepció iránt.

Az energiahatékonyság területén a felszólalók elsősorban az épületenergetikai minőségtanúsítások ingatlanpiaci hirdetésekben történő kötelező megjelentetését és érthetőbbé tételét szorgalmazták. Az energetikai auditok minőségével és elterjedtebb nagyvállalati használatával, továbbá az energiahatékonysági beruházások hatékonyabb ösztönzésével kapcsolatban szintén hangzottak el javaslatok.

Kiderült, hogy a nukleáris innováció egyik iránya az atomerőmű terheléskövető szabályozása lehet, emellett az atomerőmű hőenergiájának hasznosításában is vannak kiaknázatlan lehetőségek. Jelentős és exportképes innovációs potenciál van a fűtőelem és a szerkezeti anyagok, technológiák vizsgálatával foglalkozó kutató laboratóriumok, illetve egy nukleáris képzési és gyakorló központ létrehozásában. Ezek az új paksi atomerőművi blokkok hazai beszállítóinak, és a jövő – akár külföldről érkező – nukleáris szakembereinek felkészítését is támogatják.

A nem konvencionális technológiákra irányuló innovatív technológiai, szabályozási, és a kutatási kockázatokat csökkentő finanszírozási megoldások hozzájárulhatnak a hazai földgáz-kitermelés növeléséhez, ezáltal erősítve az ország ellátásbiztonságát.

Az EIT 2019. március 31-ei határidővel dolgozza ki stratégiai koncepcióját a Kormány számára, amely az új Nemzeti Energiastratégia innovációs fejezeteként is értelmezhető lesz. A dokumentum kijelöli majd az energetikai innováció ösztönzéséhez szükséges intézkedések és az innovációt elősegítő szabályozási környezet kialakításnak irányait, valamint javaslatokat fogalmaz meg pilot projektek és gazdaságilag hasznosítható oktatási-kutatási programok elindítására, finanszírozási ösztönzők bevezetésére.

(ITM Kommunikációs Főosztály, sajtoipm@gov.hu)

Pirolízis berendezés fejlesztését megelőző vizsgálatok

Dr. Tóth László

prof. emeritus, toth.laszlo@szie.gek.hu

Madár Viktor

gépészmérnök, madar.viktor@pyrowatt.hu

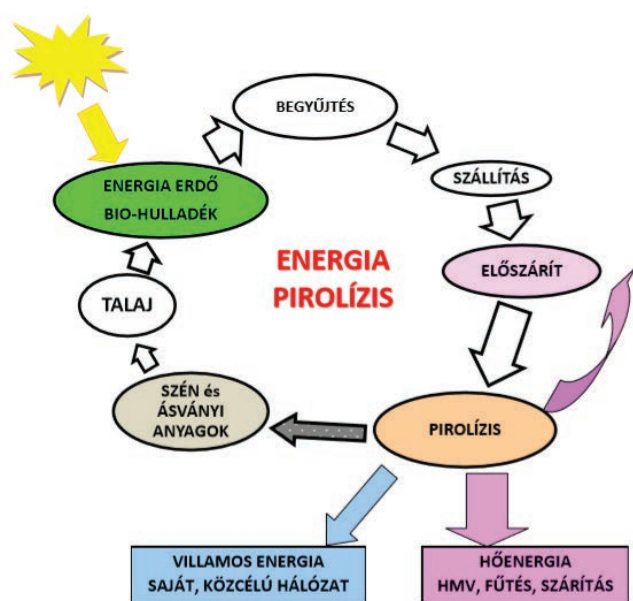
Bácskai István

PhD hallgató, bacsikai.istvan@mgi.naik.hu

A munkánk célja egy kis CHP pirolízis erőmű (5,0-50 kWe) létrehozása, amely alkalmas a mezőgazdasági hulladékok pirolízisére, és a kisebb gazdálkodók (vagy háztartások) által is felhasználható. A szükséges berendezések legyártása előtt tisztázni kellett a tervezéshez tartozó adatokat. A modell-kísérlet hozzájárul ahhoz, hogy a létesítendő CHP berendezés minél egyszerűbben felhasználható legyen, és ne kelljen hozzá speciális képzés. A biológiai hulladék környezetkímélő átalakítása és újrahasznosítása segíti az ökoszisztéma fenntartását. A pirolízis CHP egység lehetőséget biztosít a vidéki gazdálkodóknak decentralizált energia előállítására, továbbá új munkalehetőségek létrehozásával javítja a helyi lakosság életkörülményeit.

*

The aim of our work is to develop a small CHP pyrolysis power plant (5.0-50 kWe) which is suitable for the pyrolysis of agricultural waste and can be used on small farming sites (or in households). Prior to the production of the required equipment, the essential design data had to be clarified. The model experiment makes the CHP equipment as simple as possible to use, so it does not require special training. The environmentally friendly transformation and recycling of biological waste contributes to the maintenance of the ecosystem. The pyrolysis CHP unit provides local farmers with decentralized energy, moreover it improves living conditions and offers job opportunities to the rural population.



1. ábra. Beton teljes életciklusa

Kulcsszavak: pirolízis, szenesítés kinematikája, pirolízis rendszermodell, pirolízis reakciójellemzők.

A kísérleti munka közvetlen célja, hogy a mezőgazdasági biomasszákból és hulladékokból pirolízis kiserőművel hőt és villamos energiát, illetve szenet állítsunk elő. A tanulmány a tervezés részleteit megelőző kísérletekről és a majdani CHP berendezés tervezési peremfeltételeinek meghatározásáról szól.

A biomassza hőenergiává igen kedvező-, viszont villamos energiává csak alacsony hatásfokkal alakítható át. A pirolízisnél a hő és a villamos energia együttes előállítása jobb hatásfokkal lehetséges.

A kombinált kiserőműi (CHP) felhasználás ígéretes technológiának bizonyul mivel a berendezés közvetlen a termelési hely közelében valósítható meg, s a hőfelhasználásra is többféle helyi lehetőség adódik. A még magas széntartalmú maradék, ill. a nem teljes kigázosításnál (pörkölésnél) szén a mezőgazdasági területen kiválóan hasznosítható, hiszen az intenzív növénytermesztési táblákon a talaj szénhiányban szenved (Birkás M. 2015).

A biomasszák hőbontás és termékei

A biomassza pirolízise olyan termokémiai folyamat, amely elsősorban a lignocellulóz anyagokra-, és még szerves polimerek és biomassza ásványi anyagok lebontására vonatkozik.

A bomlási termékek oxigén nélkül 400 °C és 800 °C közötti hőmérsékleten keletkeznek. A főterméket rendszerint a generátorgáz, vagy a folyékony fázis az olaj.

Az említett un. lassú pirolízisnél (300 ÷ 400 °C) hosszabb a reakcióidő és szén előállítása lehet a cél.

A gázosítás során keletkező koks, illetve oxigén kémiai reakciójának eredményeként úgynevezett világítógáz, illetve generátorgáz keletkezik. Ha a közvetlen felhasználáshoz gáz halmazállapotú a végtermék, a reakció hőmérséklete általában 600 °C-nál magasabb.

A jellemzőbb konstrukciók (pirolízis reaktorok)

Sokféle pirolízis eljárási ismeretes. Az eltérő fejlesztések célja a nagyobb teljesítmény, a jobb hatásfok, illetve a kisebb kátránytartalom elérése. Ilyenek:

- a fixágyas,
- a mozgatott ágyas és
- a fluidizált rendszerek.

Fixágyas, felfelé áramlatú gázgenerátorban a generátorgáz (Martínez J. D. 2016, és mások) és az elgázosító segédanyag a tüzelőanyaggal szemben áramlik keresztül a generátoron. Ha a friss tüzelőanyagot a reaktor felső részén juttatjuk a rendszerbe, akkor az elgázosító segédanyag (levegő, oxigén vagy gőz) a tüzelőanyag oszlopát tartó rostély felől érkezik a reakcióterbe.

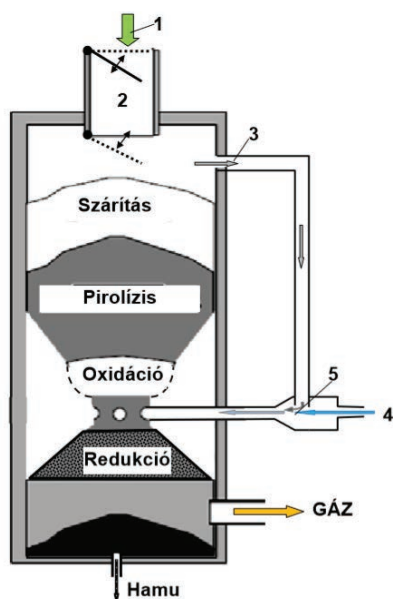
A pirolízis zónában keletkezett bomlástermék és a frissen betáplált tüzelőanyag száradásakor keletkezett gőz a keletkezett ge-

nerátorgázzal együtt hagyja el a gázgenerátort. A fő probléma oka, hogy a pirolízis gáz egyetlen magas hőmérsékletű zónán sem halad keresztül, ezért nem oxidálódik vagy bomlik el megfelelően. Így a generátort elhagyó nyers generátorgáz akár $100\text{g}/\text{Nm}^3$ -nyi vagy akár magasabb kátránytartalommal is rendelkezhet

A fixágas *lefelé áramlatú gázgenerátor* esetében az elgázosító segédanyag egy irányba áramlik a fentről beérkező friss tüzelőanyaggal, tehát felülről lefelé. Ezáltal a száradási és pirolízis zónák közvetlenül az oxidációs zóna fölött helyezkednek el, tehát hőszállítás útján megkapják a lejátszódó folyamatokhoz szükséges hőmennyiséget. Az oxidációs zónában pedig a főleg gáz halmazállapotú pirolízis termékek reakcióba lépnek a beérkező elgázosítási segédanyaggal. Az oxidációs zónából szivárgó gázokat (CO_2 és H_2O) a redukciós zónában található izzó szén CO -vá és H_2 -vé redukálja. Tehát az endotermikus Boudouard és víz-gáz reakciók után a füstgáz az érzékelhető hőjének egy részét átadja a generátorgásznak. Ebből adódóan a lefelé áramlatú gázgenerátornál a redukciós zónában a rostély fölött marad a szén, ami a hamuval együtt távozik el. Ennek ellenére optimális üzemi körülmények között a tüzelőanyag száraz tömegének akár 95%-a is átalakítható. A generátorgáz a rostély alatt távozik a reakciótérből. A kátránytartalom általában $\sim 1,0\text{g}/\text{Nm}^3$.

A lefelé áramlatú gázgenerátorok kialakítása és a benne lejátszódó folyamatok igen érzékeny a berendezésbe betáplált tüzelőanyag minőségére, főként a víztartalmára (Barman N.S. et al 2012). A szárítási zónában keletkezett teljes gőzmennyiségnek el kell távoznia a tüzelőanyag oszlopon keresztül, vagyis a vízzel nem csak az elpárologtatásához szükséges hő kell közölnünk, hanem egészen az oxidációs zónában található hőmérsékletre kell hevítünk. Tehát a lejátszódó endoterm víz-gáz reakcióval hőt vonunk el az oxidációs zónától. Ezért a magas víztartalma csökkenti az oxidációs zóna magasabb hőmérsékletét, amely a pirolízis gázt átalakítaná (Tan H. et al 2013).

Az általunk megvalósításra tervezett rendszernél a szárítási és pirolízis zónában keletkező gáz visszakeverése történik a tápláló levegőhöz és e keverék jut a rendszer redukciós terébe (2. ábra).



2. ábra. Az általunk előnyösnek ítélt rendszer elvi felépítése
Az ábra jelei: 1 – biomassza betáplálás, 2 – zsílíp, 3 – szárítási és pirolízis zónában keletkező gáz visszakeverése, 4 – primer levegő, 5 – lég és gázkeverő.

Ezzel javul a gáz fűtőértéke, energia tartalma és kátránymentes, száraz gázt kapunk.

E rendszer fő célja az egyszerűsége mellett a pirolízis során keletkezett gázok oxidálása, az elsődleges kátrány átalakítás, valamint a heterogén gáz-faszén reakció (redukciós/elgázosítás) folyamat szabályozása. Feltételeztük, hogy ezzel a keletkezett generátorgáz kátránytartalma $25\text{ mg}/\text{m}^3$ alá csökkenthető, amely már alacsonyabb, mint amit egy gázmotor megkíván, tehát szükségtelen egyéb gáztisztító/kezelő berendezéseket nem kell alkalmazni (Martinez J.D. et al 2011).

A kísérleteknél és a végső kivitelnél is az un. felső töltésű és alsó légbevezetéses (ellenáramú) rendszert választottuk.

A gázminőség szempontjából fontos redukciós zónában, a korábbi zónákban keletkező nem éghető gázok, valamint a széndioxid és a víz keresztülhalad az alsó rétegben található izzó faszéne (Antonopoulos I.S. et al 2011). Itt a szén további kémiai reakciók során redukálja őket. Ebben a zónában az endoterm folyamatok hőt vonnak el a környezettől és, ha nincs meg az ideális $600\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet, akkor romlani fog a termelt gáz minősége. A szénhidrogének felszabadulása $600\text{ }^\circ\text{C}$ körül kezdődik, a szekunder levegő belépésével a tűzgyba a gázok látható lánggal égnek el (Bhattacharya S.C., et al. 1999).

Biomasszák hőkezelése (pörkölés, lassú pirolízis)

A biomasszák hőkezelésénél (= torrefaction) alacsonyabb hőfok használatos. Gyakorlatilag e folyamat a pirolízisnek csupán az első része (dehidrációs és un. pörkölési szakasz). Fő célja a szén előállítás, amely az eredeti biomasszáknál stabilabb, kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik:

- Nagyobb a fajlagos energiataralom,
- ellenálló a biodegradációval szemben,
- kisebb (csökkent) térfogat, jobb tárolhatóság,
- könnyebben aprítható, őrlhető,
- nagyobb a fajlagos szén tartalma.

Hátrány, hogy a folyamat során az eredeti anyag energia tartalmának 15-20 %-át elveszíti.

Az első szakaszokban az alacsonyabb hőfokon tapasztalható a jelentősebb tömegváltozás (Cégény Zs. 2016,). Általában a teljes folyamatban megtalálható három eltérő szakasz. $300\text{ }^\circ\text{C}$ -nál már a keményfa $\sim 50\%$ -a lebomlik és $250\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$ tartományban a legintenzívebb a gázképződés. Az anyag tömegvesztésének 20-50%-a is erre a szakaszra esik. Tapasztalata szerint a 225 és $275\text{ }^\circ\text{C}$ -os hőkezelések esetén a hőtartási idő nem módosítja jelentősen az anyag összetételét, de $300\text{ }^\circ\text{C}$ -on már a cellulóz erőteljes bomlása miatt a hőkezelés időtartama jelentős.

A bioszén jelentősége

A pitolízis során keletkező bioszén nagy mennyiségben tartalmaz makro és mikroelemeket, ezért hatékonyan tudja megtartani a tápanyagokat, melyek ezáltal könnyen elérhetőek a növények számára.

A talajjavításkor 1,0 tonna bioszénnel, 0,61-0,8 t szenet juttathatunk a talajba, amely megfelel 2,2-2,9 tonna CO_2 lekötésnek (Collins, 2008). Az adszorpciós képesség növekedésével nő a talajok tápanyag megkötő képessége. A talajba kevert bioszén nagyfokú porozításának köszönhetően kedvező feltételeket teremt a talajlakó gombák és mikroorganizmusok számára azáltal, hogy további életteret, valamint védelmet biztosít a természetes ragadózóktól, elősegíti talaj-növény-mikróba szimbiózis kapcsolat kialakulását (Quilliam et al., 2013).

A rendelkezésre álló biomasszák

A felhasználható mező- és erdőgazdaság fő, valamint melléktermékei, továbbá az élelmiszeripar hulladékai strukturálisan igen sokfélék. A pirolízishez megfelelő anyag struktúra kell, ezért a célnak megfelelően feldolgozást el kell végezni. A hazai alapanyagok (aprítékok): akácfa, nyárfa, fűzfa, gabonaszalma, repceszalma, nád, kender, kukoricaszár, napraforgószár (általában 15-19 MJ/kg energiatartalommal). A felsorolást még lehetne folytatni, pl.: egyéb faüzemi hulladékok, gabona és élelmiszer feldolgozás-, szennyvízkezelés-, biogáz előállítás maradékai (stb.).

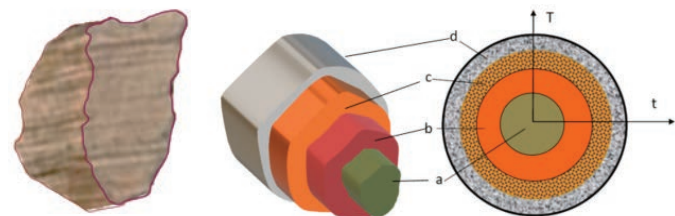
Az alapanyagok tulajdonságai

A biomassza szemcsék mérete hatással van a szenesítési időkre és a reakcióképessegre is. Az anyagban a hemicellulózok, a cellulóz, a lignin és a különféle szemcseméretetek befolyásolják a pirolízis folyamatát (Tan H. et al. 2013). Ezzel összefüggésben a magas fűtési sebesség nem feltétlen jelenti a magas reakciósebességet, viszont komplex összefüggés van a termikus hiszterézis és a különböző fűtési sebességekből eredő hajtóerők között. A lassú fűtési rendszerekben csökkent részecskeméret növeli az aktivizációs energiát, ami a részecskék alakjának hatására vezethető vissza (Dadi V. et al. 2018). A méret tömegátadási korlátokat idéz elő az illékony anyagok szállításában és a kátrányos bomlást kiváltó intrapartikuláris hőgradiens reakciókban. A keletkező termékekre nagy befolyással bír, a pl. a fa részecskék mérete, alakja és a zsugorodása, valamint a külső hőátadási körülmények is (Colomba D. B.: 2004).

1. táblázat. Néhány jellemző az aprítékra és a pelletre (konkrét példa) (feldolgozott keményfa)

Típus	Méret (mm)	Nedvesség (%)	Halmazsűrűség (kg/m ³)	Anyagsűrűség (kg/m ³)
Apríték	3-100	20	545	760
Pellet Φ és hossz	6,25 (l=6-20 mm)	6,9	820	1040

Egy szemcsét vizsgálva a geometriai (szabálytalan téglatest, henger, gömb stb.) rétegeiben „hasonló folyamatok” vannak, mint a pirolízis reaktorban lévő anyag teljes tömegében (3. ábra).



3. ábra. A részecskében elkülöníthető négy réteg ($t = \text{idő}$, $T = ^\circ\text{K}$)
a) alapanyag, b) pirolízis, c) illó anyagok kiválása, d) szén rétegek (benne gázok, illó anyagok)

A hőenergia, főleg a hővezetés révén a részecskékbe áramlik. A szilárd anyag által felvett, majd keletkező hő és hőáramlás révén az exotermikus másodlagos reakciók befolyásolhatják a bomlást. De az illékony anyagok kiáramlásából származó konvekciós hő gátolja a befelé irányuló hőáramlást. Az illékony anyagokat egy részét

is vissza lehet kényszeríteni, ami újabb kémiai reakciókat vált ki. Mindezeket a szemcsék mérete jelentősen meghatározza.

Az eltérő sűrűségektől és az adott pont hőmérsékletéről függ, hogy valójában a pirolízis hogyan megy, vagy nem megy végbe (Colomba D. B. 2004).

Az aprított biomasszáknál ezért is van előírás az aprítottság mértékére (akár egyszerű égetésről, akár pirolízisről van szó).

Aprítás mértéke és energiaigénye

A biomassza anyag aprítása révén csökken az egyes darabok mérete, de növekszik az apríték darabok összes felülete. Az apríték darabok méretéből méretosztályokat lehet képezni (pl. ÖNORM M7133 szerint), de az osztályok tömege, vagy mérete szerint eloszlásfüggvényt is rajzolhatunk. Az aprítása jelentős energiaigénnyel jár. Kick (1955) szerint az energia igény az aprítás előtti (x_0) és az aprítás utáni (x_n) apríték darabok méretarányának logaritmusától és az anyag ka tényezőjétől függ (ennek értékét az anyagok szilárdsági értékei adják). Tehát:

$$W = k_a \ln \frac{x_0}{x_n} \quad (\text{J})$$

Ha légszáraz anyagnál darabolás során megmérjük a felhasznált energiát, kiszámíthatjuk az adott anyagra vonatkozó k_a értéket.

Belső anyagi tulajdonságok

Olyan tulajdonságok, amelyek a lebontás mértékét, időtartamát (stb.) befolyásolják. A jellemzők:

- Nedvességtartalom (%)
- Alkotó elemek aránya (C, N, O, S, Cl stb.)
- Energiatartalom (MJ/kg)
- Sűrűség (kg/m³)
- Hamu ($^\circ\text{C}$ olvadáspont)
- Szenesedés, reakció képesség a hőfok függvényében stb.

E paraméterek méréséhez általános használatú műszereket használunk. Ezekkel az anyagjellemzők meghatározhatók, ismerté válnak (az eredmények részletes bemutatástól most eltekintünk).

A hőmérséklet és a tömegváltozás összefüggése

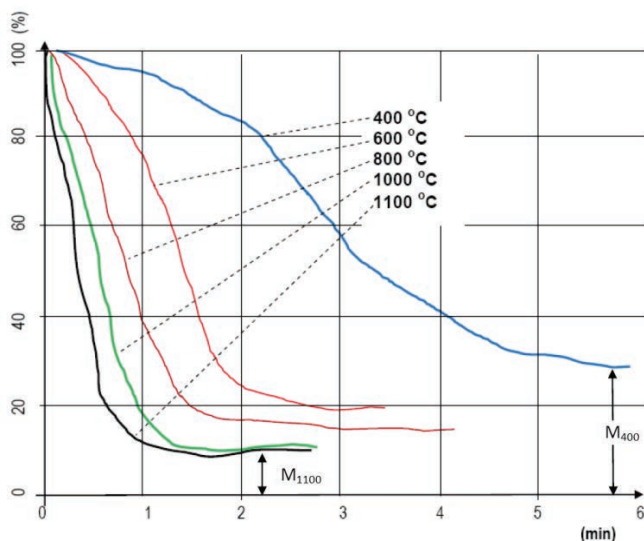
Ehhez általában a legalapvetőbb termoanalitikai módszert, a termogravimetriát (TG) alkalmazzuk.

A termogravimetrikus műszerben precíziós mérlegen van, s erre helyezve az anyagot (a mintát) a hevített kemencében helyezik. Az elektromosan programozott műszer a tömegváltozást rögzíti a hőmérséklet függvényében. Alapvető, hogy a minta azonos hőmérsékleten maradjon, amihez általában az elektromos teljesítményt egy pásztázó érzékelő (DSC) vezérli. A nemzetközi irodalomban a méréseik során kapott diagramok három szakaszát különböztetik meg. Így például Dhaundiyal A. és szerzőtársai is (2018):

- a) száradás (szárítás),
- b) illó anyagok elpárolgása és gázképződés,
- c) gázképződés és szenesedés.

A laboratóriumi kisminták vizsgálatánál a hőmérséklet mértékének hatását a tömegváltozásra az idő függvényében mértük (5. ábra). E méréseknél a műszerbe mérésenként 10 g anyag került behelyezésre, miközben a stukturának nem volt jelentősége. A felvett görbék jellege jól mutatja a hőmérséklet növelésének hatását a tömegcsökkenésre az idő függvényében. Figyelemre méltó, hogy a magasabb hőfokokon az alacsony nedvességtartalom miatt, az ún. száradási szakasz „nincs is”, mivel az anyag a hirtelen „hősokk” hatására szín-

te azonnal megszabadul a nedvességtől. A tömegcsökkenési sebesség „arányosan” növekszik a fűtési hőmérséklet mértékével. A kis tömegű minta miatt a struktúra elemzése nem megoldott.



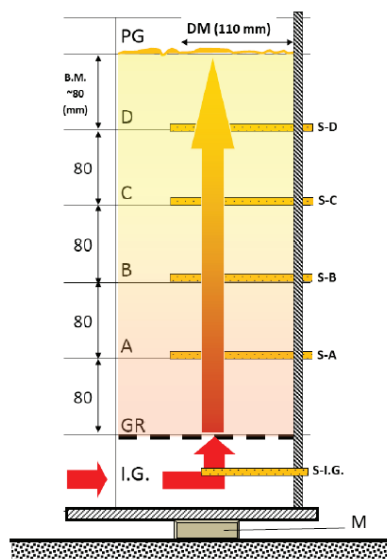
5. ábra. Különböző hőmérsékleteken a keményfa apríték tömegcsökkenésének alakulása (mérési diagram)

Az anyaghalmazokban a folyamatok alakulása (fixágyas rendszerben)

Az anyaghalmazok hőtechnikai jellemzőinek mérésekhez fejlesztett egység

A létrehozandó konstrukció (pirolízis generátor) szempontjából fontos az anyaghalmazoknál lejátszódó folyamatok megismerése.

A fixágyas reaktornál a kiszáradási, hőmérséklet- vándorlási és gáz-áthaladási jellemzők a konstrukció, valamint a hatékonyság fontos, meghatározó tényezői. A konstrukciók szempontjából lényegesebbek, mint a gravimetriával kapott adatok. A halmazokból fakadó reaktorjellemzők modellezéséhez, méréséhez ún. laboratóriumi nagymintás gázosító készüléket fejlesztettünk (6. ábra).



6. ábra. A mérőegység fő méretei és az érzékelők elhelyezése (kiviteli egység)

Az ábra szerinti főbb jellemzők:

- S-I.G. – hőérzékelő is elhelyezést nyert,
- Az A, B, C és D magasságokban vannak a (S-A) – (S-D) hőérzékelők,
- Az S-D érzékelő fölött még 80 mm anyagmagasság található, és ezt követi a PG gáz kivezető nyílása (mintavételhez és a fáklyázóhoz),
- M – precíziós mérleg,
- I.G. – fűtött inert gáz bevezetése,
- GR – tartórács alá.

A reaktor falát 110 milliméteres átmérőjű jól szigetelt acélcső alkotja, mely precíziós, torziós mérlegcellán nyugszik. A reaktorcsőbe helyezhető töltet tömege 350-700 g között változott, az alapanyag tömegsűrűségétől függően. A gázosításhoz szükséges hőenergiát 2000 W teljesítményű villamos fűtőpatron biztosítja, melynek vezérlését az általunk kialakított rendszer végezte. A reaktor hosszanti tengelyére merőlegesen az oldalfalon át benyúló, K-típusú hőelemek vannak. A legelső közvetlen a fűtőpatron mögött térben van, ami a visszacsatolást biztosítja a vezérlőnek, hogy folyamatosan a beállított fűtés jöjjön létre. Felfelé haladva még négy hőelem van, egymástól egyenlő távolságokra. Ezekkel az anyaghalmazban a hőmérsékleteket terjedését mértük az idő függvényében. A fűtőpatronon keresztül, nyomásszabályzó segítségével nitrogén gáz jut a reaktortérbe, ami az inert atmoszférát biztosítja. A keletkező termékázt összetétel analízishez, majd a fáklyázóhoz vezettük. Az anyag idősoros tömegváltozását a gázosító készülék alá épített (már említett) precíziós mérleggel regisztráltuk.

A vizsgálatok eredményei

A hőbontási hőmérséklet hatása pirolízisre, pörkölésre és szénésítésre

A vizsgálatokat többféle mező- és erdőgazdasági hulladékkal is folytattuk. Most példa gyanánt az értékelést és módszert keményfa apríték vizsgálati eredményein mutatjuk be. Az anyag analitikai vizsgálatát is elvégeztük.

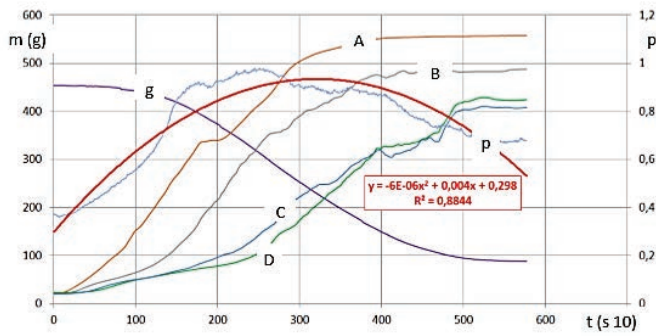
A mérések során igen nagy excel formátumú adatbázisokat (800-1400 sor/mérés, 10 s-os adattárolásnál) kaptunk. A 7. és 8. ábrák a keményfa aprítékok (G30 és G50) szénésítésénél a tömegcsökkenést és az anyagoszlopon belül a hőmérséklet változást, valamint az inert- és keletkezett pirolízisgáz hatására kialakuló hő-, tömeg, valamint nyomásértékeket szemlélteti az idő függvényében (az utóbbi a GR jelű anyagrács alatti térben).

A nagy nyomású nitrogén palackból a gázt állandó nyomáson és tömegárammal jut a fűtőegység utáni térbe. Az ott lévő szenzor méri a megváltozott értékeit a teljes szénésítési ciklus alatt az idő függvényében.

Mérési paraméterek (ábrák jelei):

- m – a behelyezett tömeg,
- g – a tömegváltozás (g/s)
- A, B, C, D – Idő függvényében a hőmérsékletváltozás a mérési pontokon (9. ábra, °C/s)
- p – Idő függvényében a nyomásváltozás a biomassza alatt (tartó rács alatt) (mbar, illetve kPa 10^{-1} /s)

* Megjegyzés: A jelzések ÖNORM M7133 szerint vannak, ahol



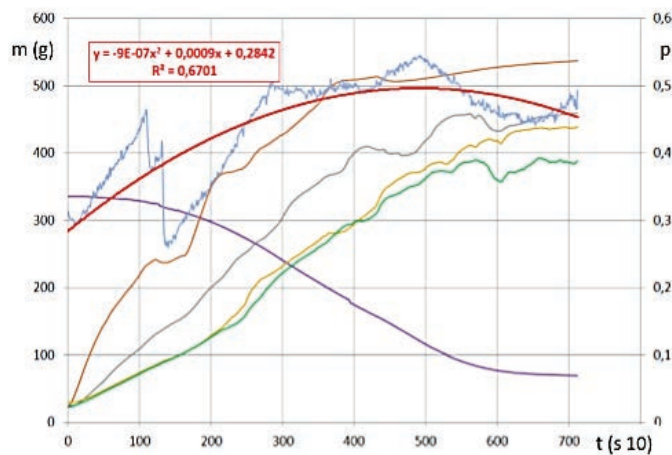
7. ábra. Keményfa (G30)* szesítése 600 °C hőfokon és az átáramló gáz nyomásváltozása, illetve trendje

G30: a tömeg 20%-a max. 3,0 cm² keresztmetszetű és 3 cm hosszú, 60%-a 2,8 cm² 2,8 cm hosszú, a további 20% 1,0 cm-nél kisebb

G50: a tömeg 20%-a max. 5,0 cm² keresztmetszetű és 3 cm hosszú, 60%-a 2,8 cm² 5,6 cm hosszú, a további 20% 1,0 cm-nél kisebb

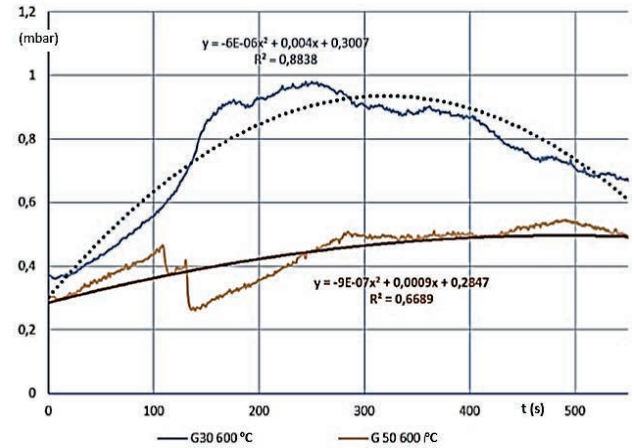
Idő függvényében gázáram egy-egy mérésnél nem változott (liter/min).

Az I.G. térben a hőmérsékletet állandó értékűre a fűtőpatronra vezetett villamos energiával szabályoztuk.



8. ábra. Keményfa (G50)* szesítése 600 °C hőfokon és az átáramló gáz nyomásváltozása, illetve trendje

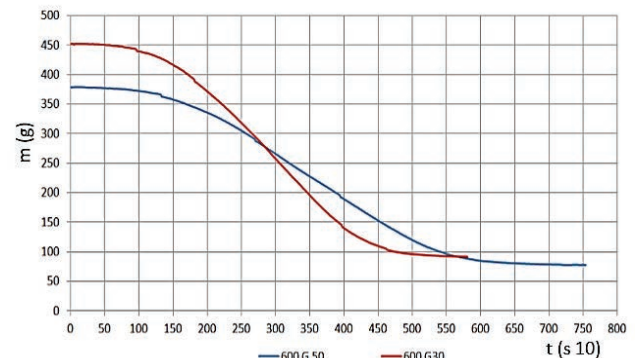
A különféle anyagoknál (8 félélt mértünk) általában akkor kezdődött számottevő változás, növekedés, amikor a megközelítőleg a teljes anyagtérfogat hőmérséklete nagyobb lett 100 °C-nál, tehát minden rétegben gőz és gázképződés megkezdődött (aktív pirolízis). Az A és B rétegek intenzíven szesedtek és az anyagból az apróbb szemcsék tovább zsugorodtak, a rétegvastagság csökkent és ezzel a belső áramlási ellenállás is kisebb lett. Ez a nyomás csökkenését eredményezte, ami végül 0,5-1,0 mbar-on megállt. Ekkorra a teljes tömeg szesedett és „összezuhan”, ami alkalmanként kisebb, rövid idejű nyomáshullámot idézett elő. A 400 °C-on mindkét frakciónál egyenletes nyomásnövekedés volt egészen a teljes szesedésig, s a növekedés 0,3-0,4 mbar-on állt meg. A 400 °C-on a várttal ellentétben a G30 és G50 anyagok nem mutattak eltérést a nyomás vonatkozásában. Az előző ábrákból kiemelve a nyomások lefutását a 9. ábra szemlélteti (az eltérés itt markánsabb, a feltételezettnek megfelelő).



9. ábra. A nyomások alakulása 600 °C-os lebontás esetén

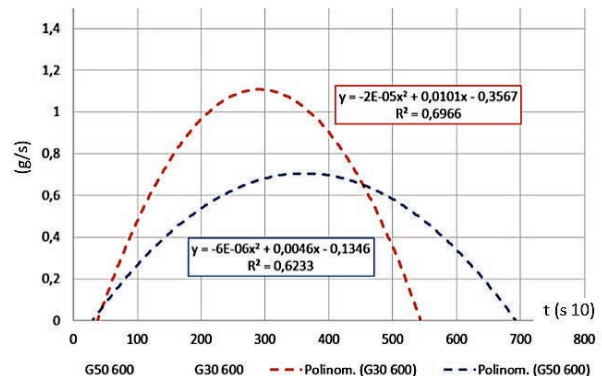
A halmazban (anyagoszlopban) a hőmérséklet hatására a tömegváltozás jellemzői

A G30 és G50-es aprítékok halmazsűrűsége eltérő, a G50 kisebb. Ebből adódóan a műszer mérőterében kisebb tömegű anyag volt behelyezhető. Ezért is a változások viszonyaira figyeltünk, mind a tömegváltozási sebességnél, mind a gáz áramlásánál szükséges nyomásértékek meghatározásánál. Ezt szemlélteti a 10. ábra G30 és G50 keményfa anyagnál 600 °C-on.



10. ábra. Tömegváltozás az idő függvényében (G30 és G50 méreteknél)

A kisebb szemcseméretű és ezáltal nagyobb térfogatsűrűségű anyagnál a tömegcsökkenési idő rövidebb, a tömegcsökkenési sebesség szignifikánsan nagyobb (11. ábra). Százalékos arányt tekintve a maradék szén mennyisége kevesebb (m_s , 10-22%-kal).



11. ábra. A tömegcsökkenés sebessége lebontási időtartamban

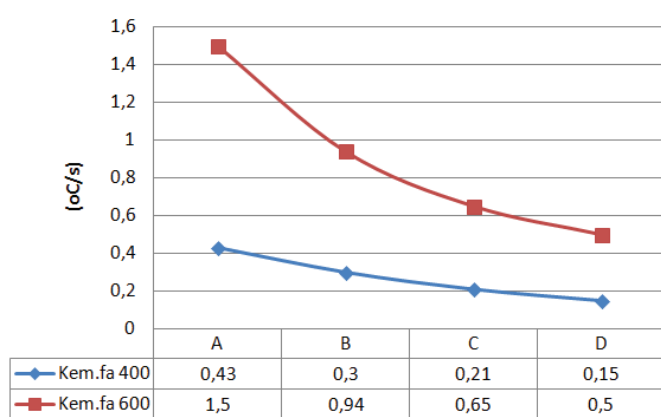
Az ábra szerinti mérés eredményeit 600 °C-os fűtési hőfok, G30 és G50 keményfa apríték lebontása esetén kaptuk.

400 °C-os fűtési hőfok esetén G50 és G30 keményfa aprítékok lebontása során a lebomlási sebesség statisztikailag lényeges eltérést nem mutatott, de csúcstértekben is kisebb volt, min a 600 °C-nél kapott értékek (annak 30-40%-át érte el). Ami bizonyítja a hézagterfogat és az aktív felület hatását a lebomlási folyamatban.

Hőmérsékletváltozás a halmazban

Az A, B, C és D jelölések a korábbi ábrák jelzésének megfelelő hőmérséklet érzékelőkkel mért értékeket mutatja, az „A” - alsótól felfelé haladva.

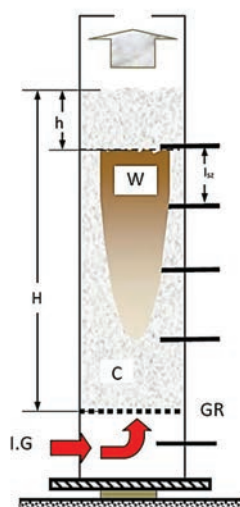
A hőmérsékletváltozás a magasabb hőfokon nagyobb intenzitású, 600 °C-on a felső hőfokváltozás értéke mutat közel azonos tendenciát, mint 400 °C-nál a legalsó pont, ahol a fűtött inert gáz bevezetése történt (12. ábra).



12. ábra. A G50 aprítékoknál a hőmérsékletváltozásának csúcstértek (°C/s)

az anyagoszlop különböző magassági pontjain a 400 °C és nagyobb 600 °C hőmérséklet esetén (inert gázban)

Az eltérés okára utal a 13. ábrán látható szénesezési folyamat haladási elrendeződése is (e jeleget szárításnál a nedvességtartalom változásánál is követi).



13. ábra. A modellben a lebomlási zóna terjedése (hő, szénesezés)

(A jelzések: C – szénesezett, W – még nem szénesezett,

h – roszakadás mértéke a művelet végén, l_{sz} – szenzorok távolsága, GR – rács, IG – inert gáz)

További, felvett és számított mért jellemzők a mérések során (2. táblázat).

2. táblázat. A mérés során és az követően rögzített főbb jellemzők és számított értékek

Az anyag hőfoka (magasságokban)	A,B,C,D	°C
Apríték magasság	H	m
A roszakadás mértéke	h	m
A behelyezett apríték tömege	m	kg
Folyamat időszora	t	s
Tömeg csökkenés	$m_p = m_a - m_s$	g
Szén tömege	m_s	g
Szén magasság	H _{sz}	m
Fa fűtőérték	W _F	MJ/kg
Szén fűtőérték	W _{sz}	MJ/kg
Nitrogén térfogatárama	Q ₁	m ³ /s
Gáz fűtőérték*	W _G	MJ/m ³
A keletkezett szén energia tartalma	Q _{sz}	MJ
Nyomás a folyamat végén	P _s	Pa

* Megjegyzés: Zsákos átlagmintát vettünk, de a kapott eredmények következtetések levonására nem voltak alkalmasak.

Tömeg változás várható értékeinek becslése

Az anyaghalmazok légellenállása

A fixágyas rendszerek esetén (magasabb anyaghalmazoknál), a szemcsék közötti gázáramlás ellenállását is figyelembe kell venni. Az általunk preferált kombinált rendszernél (lásd 2. ábra) a pirolízis és szárítási zónában lefelé, valamint felfelé, a redukációs zónában lefelé áramlás van. A felfelé irányuló áramlatban eredeti alapanyag – és már széneseztettek (száradt) szemcsék is vannak. A lefele áramlatban csak szén és hamu fordul elő. A felfelé áramlat a porozitást, azaz a hézagterfogatot növeli, a lefelé áramlat viszont tömöríti, ellenkező hatású, viszont a szén porozitása ezt ellensúlyozza (Dadi V. et al 2018).

A kisüzemekben alkalmazható fixágyas rendszerben, az aprítás minősége igen lényeges, mivel a folyamat során csak ennek révén válik kiegyenlítettébbé gáztermelés, mind mennyiségi, mind minőségi szempontból (Madár V. et al 2014). Természetesen a folyamat hatékonysága anyagféleségenként változó, mivel az azok belső összetétele eltérő. Végül is az aprítás mértékével változik a térfogatsűrűség, a porozitás, amelyek meghatározóak a gáz átáramlási paramétereire.

3. táblázat. A bemutatott és vizsgált keményfák halmaz jellemzői (G 50)

Megnevezés	Mértékegység	400	600
A forgács halmazsűrűsége	kg/m ³	165,82	165,82
A szén halmazsűrűség	kg/m ³	83,8948	61,7157
Az átáramló gáz átlagsebessége	m/s	0,024	0,058

A tömegváltozás modellezése

A gázképződés, illetve a tömegcsökkenés összefüggése az idő függvényében matematikai összefüggésekkel jól közelíthető az anyagokjellemzők és a hőfok ismeretében.

A meghatározó tömegjellemzők:

- m_k = a kísérleti egységbe helyezett anyag tömege (g)
- m_s = a kísérleti egységben a folyamat végén maradt anyag tömege (g), (szén, hamu)
- m_p = a kísérleti egységben pirolízis gázzá alakuló anyag adott pillanatnyi (in –situ) tömege (g)
- m_{pc} = a kalkulált függvény alapján a kísérleti egységben pirolízis gázzá alakuló anyag tömege (g)

Gázzá alakulás az idő függvényében: $f(t) = m_p$

A tömegcsökkenés (g) matematikai modellje az idő függvényében:

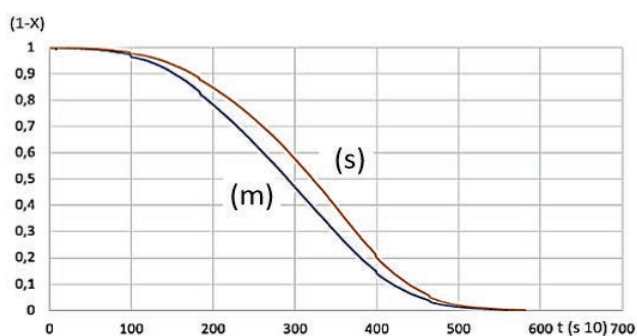
$$m_{pc} = a - \frac{a}{a + b e^{-acmp}} 10^3$$

- a = a választott alapegység (pl. 1,0)
- b = az anyag struktúrája alapján meghatározott érték
- c = a térfogati sűrűség alapján meghatározott érték

Az $m_p = 1,0$ a fűtés kezdetén a behelyezett anyagnál, az $m_{pc} = X$ (0-tól 1,0) a fűtés időszakában és a tömegcsökkenés végén.

$$X = (m_k - m_{pc}) / (m_0 - m_s),$$

A számítás alapját képező függvénynél a mért és a számított adat-sor szoros illeszkedést mutat (14. ábra).



14. ábra. G 50-as keményfa, 600 °C fűtés esetén a mért és a számított érték (mért és számított között: $R^2 = 0,8758$)

Következtetések

A vizsgálatokhoz modell berendezést készítettünk, amely a halmazokban a folyamatok jellemzőinek meghatározását teszik lehetővé. A gravimetrikus mérések a rendszerek tervezéséhez szükségesek, de nem elégségesek. Cél volt a fix ágyas kivétel létrehozása, ezért is többféle anyaggal végeztünk vizsgálatokat. Jelen cikkünkben csupán a keményfa apríték példáján keresztül mutattuk be a kapott (közelítően más anyagokra is jellemző) eredményeket. Az anyag oszlopban (halmazban) mérjük a hő terjedési sebességét (a pirolízis terjedéséhez közelítve), kiindulva a hőközlési ponttól az anyag legtovábbi pontjáig.

- Alacsonyabb hőfokon (400 °C, ami a szén készítéshez is alkalmas) az anyag rétegekben a gázáramlás intenzitása kisebb és az áramlat is egyenletesebb (jó közelítéssel lineáris függvényt is ad).
- A magasabb hőfokon a hőterjedés nagyobb intenzitású és a gázképződés is nagyobb, majd mérséklődik (az összefüggés másodfokú). A tömeg csökken a parabola csúcsánál a legnagyobb és legintenzívebb, a visszamaradó szén kevesebb.
- Az anyag rétegekben a hőmérséklet különbség jellemzően a nagyobb fűtési hőfoknál a nagyobb. Ez a hő terjedése sebes-

ségére is kihat, mely egyértelműen az alacsonyabb hőfoknál a kisebb, de a fűtéshez közelebb álló tartományban mindig nagyobb.

- A működő üzemi berendezésekhez hasonlóan a modell berendezés falának is jó a hővezetése, miközben a köpeny jó hőszigetelt. Ennek következtében a hőterjedés a fal környezetében a jelentősebb, az anyag középső részén lassúbb és mindig alacsonyabb. Ez arra utal, hogy a fixágyas, hasonló alapértékekkel rendelkező berendezéseknél a hatékonyság javítása érdekében szükséges lehet az anyag „magrészének” (körültekintő, lassú) mozgatására, a jobb hőátadás miatt.
- Az anyagok beltartalmi, fizikai jellemzőinek, valamint a rendszer paramétereinek ismeretében a várható tömegcsökkenés (anyagmaradvány) matematikai összefüggésekkel jó közelítésekkel előre jelezhető.
- A méréseink szerint a szén porozitása jóval nagyobb, mint a kiinduló anyagoké. Ennek ellenére, a vártól eltérően a redukációs zónában, a tömörödés miatt nem kevesebb az energia igény ahhoz, hogy a gáz átáramoljon az ott lévő magas hőmérsékletű nagyrészt szénen tartalmazó anyagon.

Az aprítás mértékének növelése a pirolízis szempontjából – hőtechnikai szempontból – meghatározott arányig előnyös, de energia igénye nagy és ezért is az optimális közelítésére kell törekedni. A kapott összefüggésnél a statisztikai biztonság elfogadható. Az eredmények figyelembevételével tervezett kísérleti berendezés üzemeltetését és mérését megkezdjük.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást a Nemzetgazdasági Minisztérium, GINOP 2.1.7-152016-01604 sz., Többfázisú gázgenerátoros biomassza kiserőmű prototípusfejlesztése c. téma keretében támogatta.

Irodalmi hivatkozások

- [1] Alok Dhaundiyal, et al.: 2018 : Determination of Kinetic Parameters for the Thermal Decomposition Szent István University Mechanical Engineering Doctoral School, <https://www.degruyter.com/view/j/rtuetc>
- [2] Birkás M.: 2015. Környezetkímélő alkalmazkodó talajművelés http://www.mtafi.hu/konyvtar/kiadv/ktm/pdf/KTRM_2015_teljes.pdf
- [3] Cégény Zs.: 2016 Biomassza-anyagok-hasznosítása-termikus-modszerekkel, MTA Anyag-és Környezetkémiai Intézet Megújuló Energiacsoport <https://docplayer.hu/42235002-Biomassza-anyagok-hasznosítása-termikus-modszerekkel.html>
- [4] Colomba Di Blasi (2004) Modeling intra- and extra-particle processes of wood fast pyrolysis, Environmental and Energy Engineering Dipartimento di Ingegneria Chimica, Università degli Studi di Napoli "Federico II," 80125 Napoli, Italy 16 April 2004
- [5] Dadi V. Suriapparao R.: 2018 Effects of Biomass Particle Size on Slow Pyrolysis Kinetics and Fast Pyrolysis Product Distribution, Waste and Biomass Valorization, March 2018, Volume 9, Issue 3, pp 465–477 <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-016-9815-7>
- [6] Füleky Gy.: et al (2015) A szilárd végtermékek mezőgazdasági hasznosításának lehetőségei Szent István Egyetem, TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0015
- [7] I.-S. Antonopoulos, et al.: 2011, Development of an innovative 3-stage steady-bed gasifier for municipal solid waste and biomass In: Elsevier, Fuel Processing Technology 92. sz., pp. 2389-2396.
- [8] Kocsis T.: 2018 Bioszén és bioeffektor kombinációk hatása homoktalanok biológiai tulajdonságaira Doktori (ph.d.) értekezés Kertészettudományi Doktori Iskola, Budapest
- [9] Madár V., Tóth L., Madár Gy., Schrempf N.: 2014, Kísérleti fagázgenerátor Mezőgazdasági Technika, ISSN 0026 1890. 55. évf. Nr.4. pp. 2-5
- [10] N. S. Barman, S. Ghosh: 2012 Gasification of biomass in a fixed bed downdraft gasifier – A realistic model including tar In: Elsevier, Bioresource Technology 107. sz., pp. 505-511.

Egykomponensű munkaközegek újszerű osztályozása ORC technológiához

Györke Gábor

tanársegéd, gyorke@energia.bme.hu

Dr. Groniewsky Axel

adjunktus, groniewsky@energia.bme.hu

Dr. Imre Attila

egyetemi tanár, imreattila@energia.bme.hu

Az alacsony hőmérsékletű hőforrásból származó villamosenergia-termelés hatékony kihasználására irányuló kutatások és fejlesztések száma jelentősen megnövekedett az elmúlt évtizedekben. Ilyen alacsony hőmérsékletű hőforrások például a geotermikus energia, a különféle folyamatok során keletkező hulladékhő, napenergia vagy a biomassza. Az alacsony hőbevezetési átlaghőmérséklet miatt a hagyományos víz/vízgőz munkaközeggel üzemelő RANKINE körfolyamat szerint működő gőzerőmű nem, vagy csak nagyon alacsony körfolyamati hatásfokkal valósítható meg. Ennek kiküszöbölésére alternatív – döntően szerves – munkaközeget használó körfolyamatot használhatunk, melyet szerves RANKINE körfolyamatnak nevez a szakirodalom, angolul ORC (Organic RANKINE Cycle). A munkaszolgáltató körfolyamatok ábrázolására és vizsgálatára elsődlegesen a munkaközeg hőmérséklet entrópia (T - s) diagramját használják. A munkaközegek telítési görbéjének (fázisgörbéje) alakja T - s diagramban nagyon változatosak. Az 1960-as években bevezettek egy osztályozási rendszert, amely három kategóriába sorolja a tiszta (egykomponensű) munkaközegeket. Az ORC technológia térhódítása során adódnak ennek az osztályozási rendszer elvi és gyakorlati hiányosságai, ami miatt egy újszerű osztályozás bevezetése vált indokolttá.

*

The number of studies and development of power generation from low-temperature heat sources like geothermal, waste heat, thermal solar or biomass has been increasing significantly in the last few decades. The traditional water-steam Rankine cycle based power generation cannot exploit efficiently these heat sources, since the heat is added at low temperature. To eliminate low cycle efficiency, power cycles with alternative – mainly organic – working fluids were developed, which are called Organic Rankine Cycle (ORC). Temperature entropy diagram of the working fluid is preferred to display and analyse power cycles. The shape of the saturation curve of the working fluids in T - s diagram show great variety. In the 1960s a classification of pure (single component) working fluids were introduced, which sorts the fluids into three classes. The spread of ORC technology has shown some theoretical and practical shortcomings of the classification, which induced the introduction of a novel classification.

Az ORC technológia és a régi osztályozási rendszer

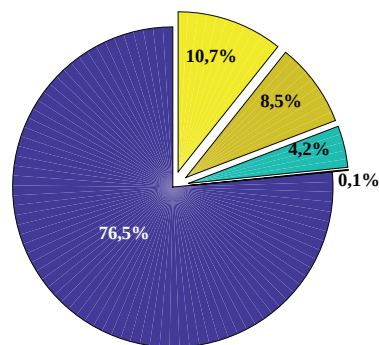
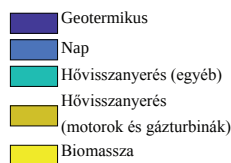
Az ORC technológia más, döntően szerves munkaközeget (kivétel pl. a szén-dioxid) használ, melyek elsősorban termofizikai tulajdonságaik miatt jobb hatásfokkal képesek villamos energiát termelni az alacsony hőmérsékletű hőforrásokból, mint a hagyományos víz-vízgőz munkaközegű RANKINE körfolyamattal működők. A technológia kifejlesztése az 1950-es évekhez nyúlik vissza és LUCIEN BRONICKI és HARRY ZVI TABOR nevéhez fűződik. Az ORC World

Map [1] szerint 2017. év elején a világon létesített ORC egységek száma elérte a 861-et. Ebből Közép-Európában (Budapesttől 1000 km távolságon belül) található 448. Az ORC gyártók száma meghaladja a húszat, melyek közül a legjelentősebb az ORMAT az eddig telepített kapacitások tekintetében. (65,7%, 2016. év elején [1]) Hőforrás tekintetében a geotermikus kutak magasan vezetnek (76,5%, 2016. év elején [1]).

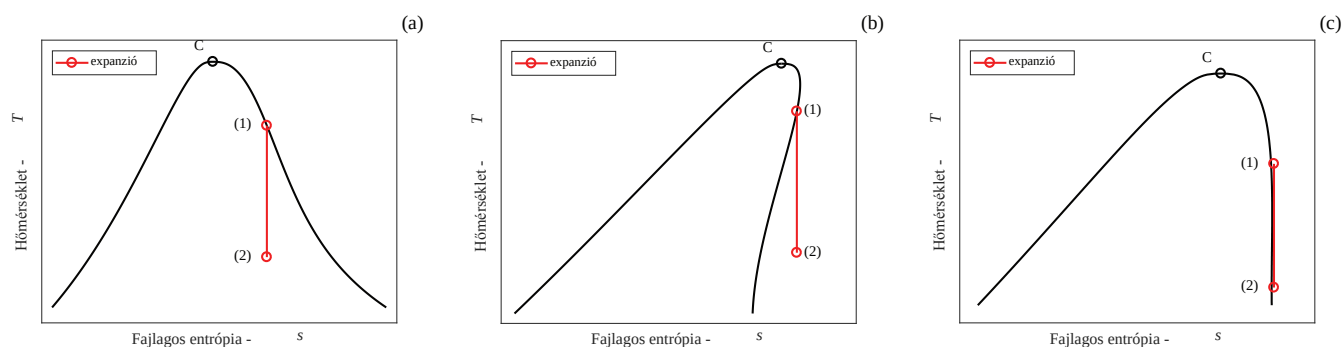
Az munkaközegek hagyományos (rég) osztályozásának [2],[3] alapja a turbinából (ORC egységeknél ezt sok esetben inkább expandernek hívják) kilépő expandált gőz minősége, azaz fajlagos gőztartalma. Ez az osztályozási rendszer három csoportra osztja a munkaközegeket: nedvesítő, szárító, izentróp.

Nedvesítőnek hívjuk a munkaközeget, ha telített száraz gőz állapotból egy izentropikus (adiabatikus és reverzibilis) expanzióval minden esetben a kétfázisú, úgynevezett nedves gőz régióba érkezik a gőz. Hőmérséklet-entrópia diagramon ez matematikailag azt jelenti, hogy a gőzoldali telítési görbe minden pontjának meredeksége negatív: $dT/ds < 0$. Következésképpen csökkenő telítési hőmérséklet mellett a telített száraz gőz entrópiája szigorúan monoton növekedni fog. A 2. ábra (a) részén egy nedvesítő munkaközeget láthatunk egy lehetséges izentropikus expanzióval telített száraz gőz állapotból.

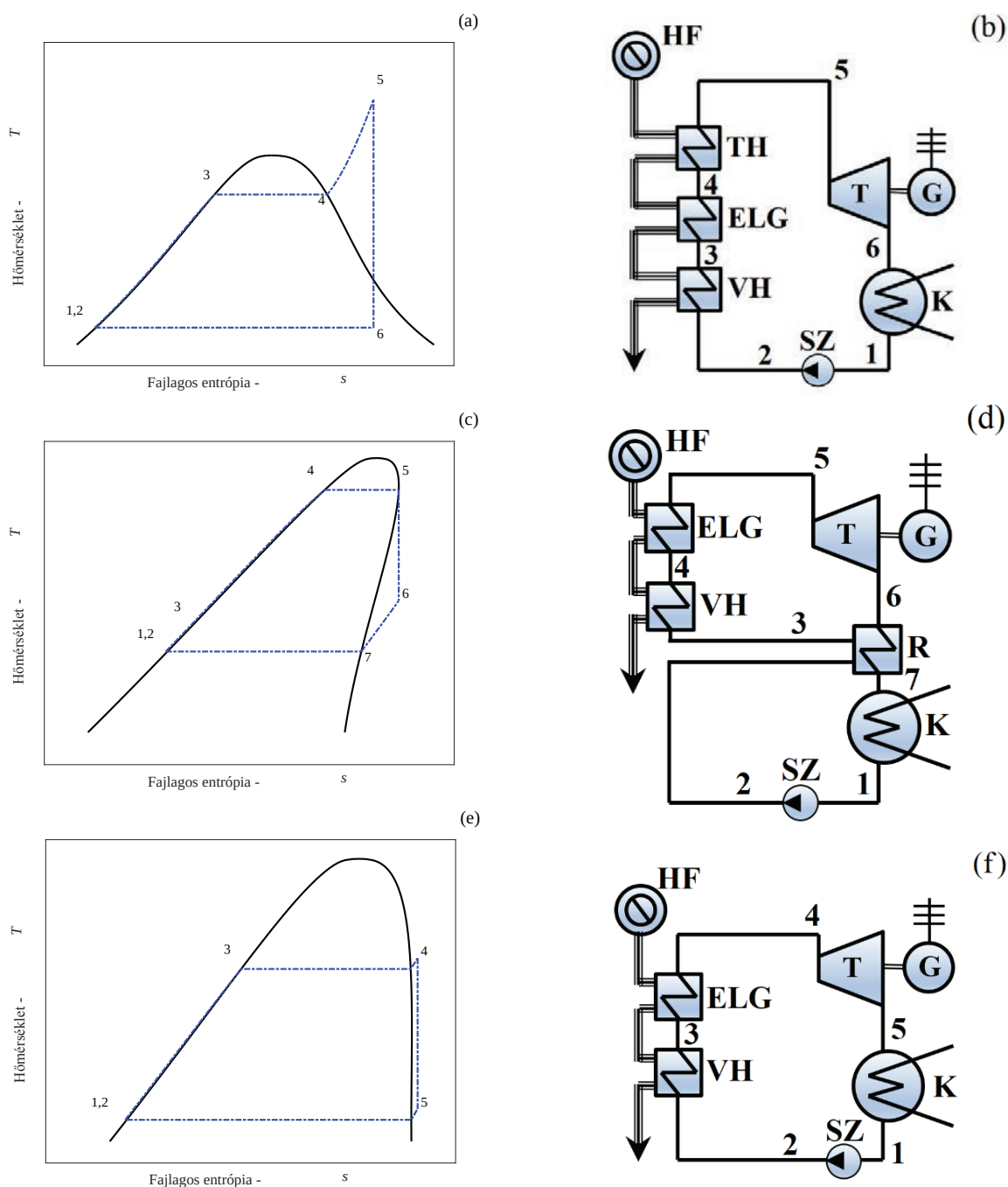
Ezzel szemben, *szárító*nak hívjuk a munkaközeget, ha telített száraz gőz állapotból egy izentropikus (adiabatikus és reverzibilis) expanzióval minden esetben a túlhevített (száraz) gőz régióba jut a gőz. Hőmérséklet-entrópia diagramon ez matematikailag azt jelenti, hogy a gőzoldali telítési görbe – a kritikus pont (C) alatt egy relatíve kis hőmérséklettartománytól eltekintve – minden pontjának meredeksége pozitív: $dT/ds > 0$. Következésképpen csökkenő telítési hőmérséklet mellett a száraz gőz entrópiája szigorúan monoton csökkenni fog. A kritikus ponttól (C) indulva a gőzoldali telítési görbe meredeksége egy szűk hőmérséklettartományban szükségszerűen negatív: $dT/ds < 0$, amíg el nem ér egy $ds/dT = 0$ globális szélsőérték.



1. ábra. Létesített ORC egységek kapacitása hőforrás szerint [1]



2. ábra. Hagományos (régí) osztályozási rendszer. (a) nedvesítő, pl. víz; (b) szárító, pl. neopentán; (c) izentropikus pl. CCl_3F (jó közelítéssel, adott hőmérséklettartományon)



3. ábra. A hagyományos osztályozási rendszer munkaközégeihez illeszthető ORC hőkapcsolások és hozzájuk tartozó T-s diagramok. Nedvesítő: (a,b), szárító: (c,d) és izentropikus munkaközeg: (e,f). HF: hőforrás, SZ: szivattyú, VH: vízhevíítő (ECO), ELG: elgőzölögtető, TH: gőz túlhevítő, T: gőzturbina (expander), G: villamos generátor, K: kondenzátor

téket (entrópiamaximumot) és negatív meredekségűvé válik. Ettől a szűk szakasztól jellemzően eltekinthetünk, mivel a műszaki gyakorlatban kerülük a kritikus pont környékén lezajló állapotváltozásokat. A 2. ábra (b) részén egy szárító típusú munkaközegét láthatunk egy lehetséges izentropikus expanzióval telített száraz gőz állapotból.

A munkaközeg *izentróp*, ha telített száraz gőz állapotból induló izentropikus expanzió során a gőz szintén telített száraz gőz állapotba jut. Izentróp esetben a gőz az expanzió folyamán végig telített száraz gőz állapotban van; mint a későbbiekben megmutatjuk, olyan munkaközeg, amelyre ez egzaktul igaz nem létezik. Ez azt jelenti, hogy a szárítónál is említett rövid negatív meredekségű szakasz után a gőzoldali telítési görbe hőmérséklet-entrópia síkon függőlegesbe (izentrópba), azaz végtelen meredekségűbe megy át ($dT/ds \rightarrow \infty$). A 2. ábra (c) részén egy izentróp típusú munkaközegét láthatunk egy lehetséges izentropikus expanzióval, ami pusztán a jobb láthatóság érdekében egy enyhén túlhevített gőz állapotból indul és végződik.

Ennek az osztályozási rendszernek a bevezetését az indokolta, hogy a különböző munkaközeg osztályokhoz különböző hőséma-kapcsolásokat kell alkalmazni a műszaki megvalósíthatóság érdekében. A 3. ábra az egyes munkaközeg osztályokhoz tartozó lehetséges hőséma-kapcsolásokat és az azokon látható berendezésekben megvalósuló reverzibilis (ideális) állapotváltozásokat mutatja T - s diagramban, melyekből a szerves RANKINE körfolyamatok épülnek fel.

Nedvesítő típusú munkaközeg esetén (3. ábra (a) és (b)) szükséges a közeg túlhevítése, hogy elkerüljük a turbinában a túlzott mértékű cseppképződést. A cseppképződés egyrészt áramlási veszteségeként jelentkezik a turbina üzeme során: a cseppek a turbinalapátokat éppen fékezni fogják tehetetlenségükből kifolyólag, rontva ezzel a gép belső (izentropikus) hatásfokát, másrészt a növekvő cseppképződés fokozza a lapáterőzést. A turbina élettartamának és biztonságos üzemének érdekében a cseppképződést minimalizálni, de mindenképpen egy adott határon belül kell tartani. A T - s diagramon jól látszik, hogy minél kisebb mértékű a túlhevítés (minél közelebb van az 5-ös állapot a 4-eshez), annál nagyobb lesz a cseppképződés. A túlhevítés az energiaátalakító körfolyamatra nézve kedvező, mivel nagymértékben növeli a hőbevezetés termodinamikai középhőmérsékletét, így növeli körfolyamat termikus (CARNOT) hatásfokát. Ugyanakkor, mivel itt alacsony hőmérsékletű hőhasznosításról beszélünk, a túlhevítés miatt csökken a hőcserélőben a közegek közti hőmérsékletkülönbség, ami miatt nagyobb hőátviteli felületű hőcserélőre van szükség, ami magasabb beruházási és üzemeltetési költséget jelent. A túlhevítőben (TH) a gőzoldali hőátadási tényező számottevően kisebb, mint forrás (ELG) vagy folyadék (VH) halmazállapotú áramlás esetén, így eleve is relatíve nagy hőátviteli felületre van szükség. Túlhevítő alkalmazása esetén ráadásul még a hőforrásból kinyerhető hőteljesítmény is csökkenhet, ami szintén kedvezőtlen. A 3. ábra kapcsolásain a folyadék izobár hőbevitelére szolgáló berendezést a magyar erőművi elnevezéseknek megfelelően akkor is vízhevítőként (VH) tüntetjük fel, ha a munkaközeg nem víz (H_2O), annak ellenére, hogy ezekben az esetekben a folyadékhévíző (FH) lenne talán a helyesebb megnevezés. Hasonlóan járunk el más berendezésekkel is, mint pl. a tápvíz-előmelegítővel.

Száritó típusú munkaközeg esetén cseppképződéssel nem kell számolnunk, így értelemszerűen túlhevítőre sincs szükség, sőt a munkaközeg expanziója végén a gőz jelentősen túlhevített állapotban lesz. A kapcsolási séma és a T - s diagram a 3. ábra (c) és (d) részén látható. A túlhevített gőz miatt a kondenzátornak nagyobb a hőterhelése és így a hűtési igénye is. Emellett a túlhevített gőz lefűj-

ja a hűtőcsövek külső felületén kialakult kondenzátum filmréteget, csökkentve ezzel a hőátadási tényezőt. Bár léteznek olyan kondenzációs hőcserélők (pl. hagyományos gőzerőművek nagynyomású tápvíz-előmelegítő rendszerében), amelyek egy készüléken belül rendelkeznek gőzhűtővel és kondenzációs szekcióval, a gyakorlatban egy rekuperatív hővisszanyerő hőcserélőt (R) szoktak beépíteni a kondenzátor elé, mely másik oldalról nézve tulajdonképpen egy tápvíz-előmelegítőnek felel meg (2 $\rightarrow$ 3). Így, az amúgy környezetbe távozó túlhevítési hő (6 $\rightarrow$ 7) még hasznosul, tehát hatásfokjavító hatása van.

Izentróp típusú munkaközeg esetén nincs szükség sem túlhevítőre, sem a rekuperatív hővisszanyerőre, mivel az expanzió reverzibilis esetben együtt fut a gőzoldali telítési görbével. Ugyanakkor, ahogy a 3. ábra (e) és (f) részén láthatjuk, egy csekély mértékű túlhevítést itt is szoktak alkalmazni, hogy biztosan elkerüljék a cseppképződést, illetve, hogy a turbinába a belépésnél biztosan ne legyen a közegnek nedvességtartalma. Beláthatjuk, hogy ez csak biztonsági, mintsem hatásfokjavítási intézkedés. Mivel az expanzió végén a gőz nem jelentősen túlhevített, nincs szükség gőzhűtőre.

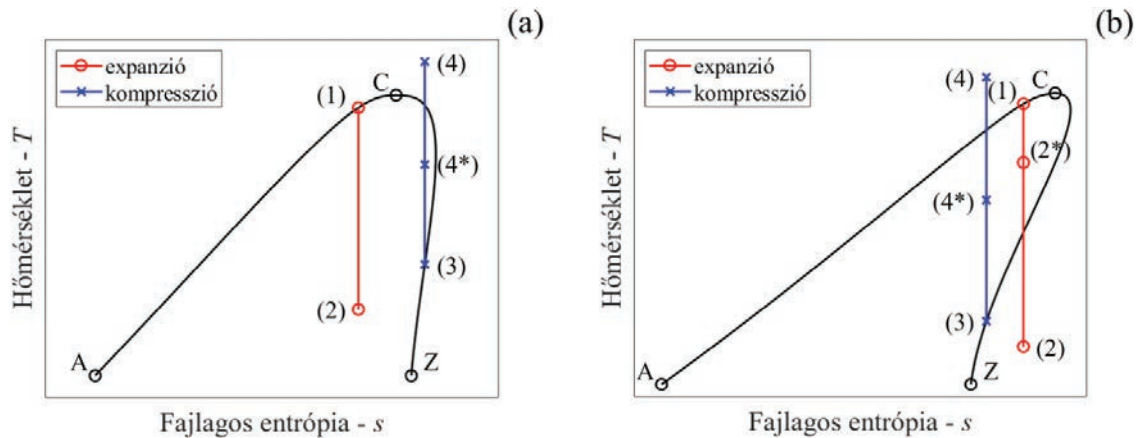
A turbinákban ideális esetben reverzibilis adiabatikus, azaz izentropikus folyamat játszódik le. Valós (irreverzibilis) esetben az expanziós görbe nem lesz izentropikus (függőleges T - s diagramban). Valós adiabatikus expanzió és nem hűtött turbina esetén az expanzió vonala a reverzibilishez képest a növekvő entrópiák irányába hajlik el ($ds > 0$). Ennek figyelembe vétele szintén fontos lesz a munkaközeg választásnál, hiszen a pozitív irányba történő elhajlás a kétfázisú (nedves) mezőben növeli a közeg fajlagos gőztartalmát (q), ezzel csökkenti az ebből származó veszteségeket, míg a túlhevített gőz mezőben növeli a közeg túlhevítettségének mértékét. Ilyen formán beláthatjuk, hogy egy izentróp munkaközeg esetén egyáltalán nem kell tartanunk a cseppképződéstől, de például egy csak igen enyhén nedvesítő típusú munkaközeg esetén telített száraz gőz állapotból induló valós expanzió sem feltétlenül fog belépni a nedves mezőbe.

A leírtak alapján belátható, hogy a telítési görbe gőz oldalának alakja igen jelentősen befolyásolja a munkaközeg-választást [4],[5],[6]. Ebből kifolyólag bármilyen termodinamikai csoportosítása a munkaközegeknek e görbe jellemzőit valamilyen módon figyelembe kell, hogy vegye. Természetesen a munkaközeg-választás nem csak a gőz telítési görbe alakján múlik, hanem számos fizikai-kémiai, de akár más nem fizikai tényezőket is figyelembe kell venni, miket itt most nem részletezünk [7],[8],[9],[10],[11].

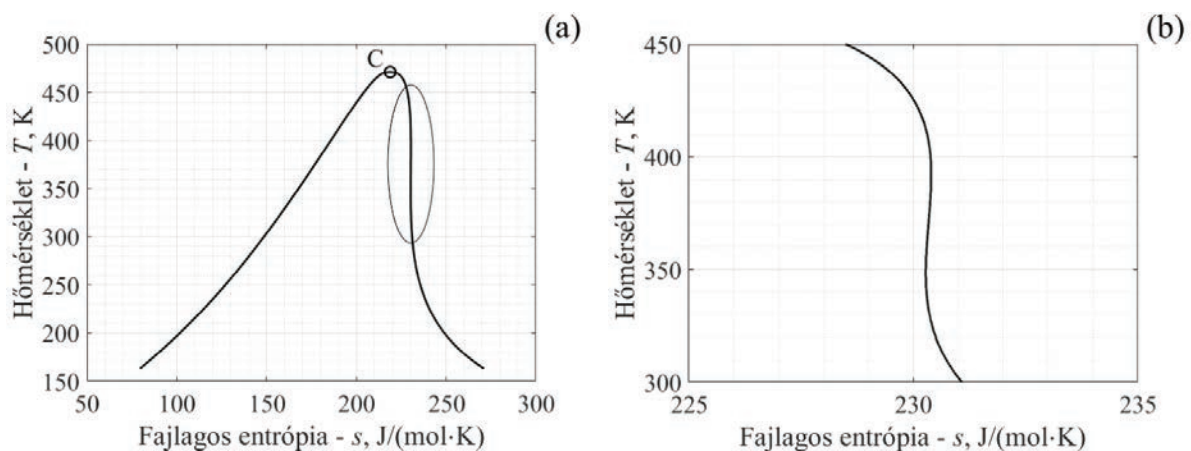
A régi osztályozási rendszer hiányosságai

Pusztán technológiai oldalról megközelítve a problémát, a klasszikus osztályozási rendszer megfelelően tűnik a munkaközegek termodinamikai kategorizálására. Azonban ha számos munkaközeg T - s telítési görbáját megnézzük, beláthatjuk, hogy a klasszikus osztályozási rendszer nem eléggé kifinomult, illetve az eredeti definíció alapján nem sorolható be ezekbe valamennyi munkaközeg [4],[12].

Az egyik ilyen kérdés a szárító típusú munkaközegeket érinti, melyekre két példát a 4. ábra mutat T - s diagramban. Mindkét példánál berajzoltunk egy-egy izentropikus expanziót (piros: (1) $\rightarrow$ (2)) és kompressziót (kék: (3) $\rightarrow$ (4)). Az anyagok hármasponti hőmérsékletéhez tartozó telített folyadék és telített száraz gőz állapotot, mint karakterisztikus pontokat rendre A és Z pontok jelölik, míg a kritikus pontot a C jelöli. A görbe A-C szakasza a telített folyadék, C-Z szakasza pedig a telített száraz gőz állapotokat jelöli. Jól látható az (a) ábrán bemutatott munkaközeg esetében, hogy telített



4. ábra. Két szárító típusú munkaközeg közötti különbségek bemutatása izentropikus expanzió (piros) és kompresszió (kék) segítségével



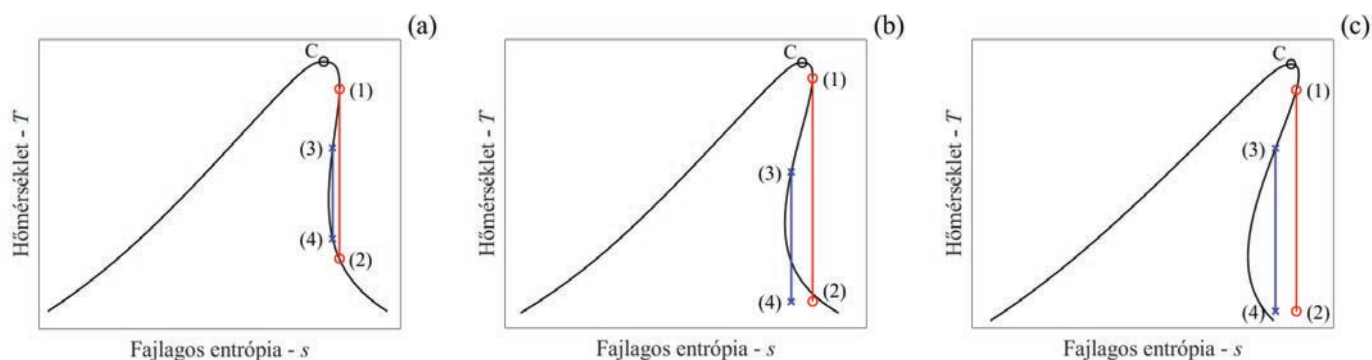
5. ábra. A fluor-triklórmétán (CCl_3F) T s diagramja (a), és a gőzoldali telítési görbe kinagyítása (b) az izentropikus szempontból vizsgált tartományban

folyadék állapotból indított izentropikus expanzió csakis kizárólag a kétfázisú (nedves) mezőben végződhet, mivel a C-Z szakaszon minden pont entrópiája nagyobb, mint az A-C szakasz pontjaihoz tartozó entrópia. Ezzel szemben a (b) ábrán látható munkaközeg esetében az expanzió végződhet a kétfázisú mezőben (2^*), és eljuthat a túlhevített gőz állapotba is, feltéve, hogy a kiinduló állapotban a közeg entrópiája nagyobb, mint a Z pont entrópiája ($s_1 > s_Z$). A különbség tehát a két szárító típusú munkaközeg között az, hogy tudunk-e úgy telített folyadékot izentropikusan expandáltatni, hogy túlhevített gőz állapotba juthassunk (fajlagos gőztartalom, $q = 1$). Az inkább elméleti, mintsem gyakorlati kérdés, ugyanakkor az úgynevezett Trilateral Flash Cycle (TFC) típusú [13] körfolyamatoknál a munkaközeg elgőzölögése az expanderben történik, így itt ennek a különbségnek jelentősége lehet.

Ugyancsak a 4. ábra egy-egy izentropikus kompressziót is mutat $(3) \rightarrow (4)$. A kompresszió mindkét esetben telített száraz gőz állapotból indul és látható, hogy az (a) esetben a gőzt nem tudjuk teljesen folyadékká alakítani (cseppfolyósítani). A (b) esetben feltétel nélkül lehetséges a részleges folyadékká alakítás (4^*), viszont itt teljes egészében is cseppfolyósíthatjuk a munkaközegét, amennyiben a kiinduló állapot entrópiája kisebb, mint a kritikus ponté ($s_3 < s_C$). A teljes cseppfolyósítás után (telített folyadék görbe elérése) további kompresszióval nyomott vagy aláhűtött folyadék állapotba (4) is eljuthatunk, míg az (a) esetben ezek a nagynyomású

állapotok (4) mindig túlhevített gőz fázisúak. Ennek a különbségnek egyrészt a gőzkompresszoros hűtőkörfolyamatoknál lehet jelentősége, ahol nem megengedhető a cseppképződés a kompresszió során a kompresszor biztonságos üzemé és élettartama érdekében, másrészt fontos lehet gázcseppfolyósításnál is. Valós adiabatikus kompresszió során (a kompresszió vonala a nagyobb entrópiák irányába elhajlik) az (a) típusú munkaközeg még hűtőközegként felmerülhet az izentropikus hatásfokától függően, míg a (b) típus még valós esetben sem valószínű, hogy cseppmentes kompressziót tud biztosítani. Emellett, amennyiben az (a) típusnál elkerültük a cseppképződést, a végállapotban kis mértékben túlhevített gőzt kapunk, ami kifejezetten jó körülmény mind a kompresszor, mind az utána következő kondenzátor működése, valamint az áthidalandó hőmérsékletkülönbség (hűtött tér és környezet) szempontjából.

Valós munkaközegek T-s diagramjának alakját vizsgálva az izentropikus kategória létezése erősen megkérdőjelezhetővé válik. A NIST adatbázisában [14] szereplő anyagok közül egyik sem tökéletesen izentropikus, azaz a felső telítési (száraz gőz) görbe nem válik tartósan függőlegessé (végtelen negatív meredekségűvé) a kritikus pont utáni szükségszerű negatív meredekségű szakasz után sem. Példának okáért tekintsük a fluor triklórmétán (CCl_3F – R-11) hűtőközeget. A fluor-triklórmétán kb. 300..450 K tartományban a gyakorlat szempontjából izentropikusnak tekinthető, mivel a telítési görbe fajlagos entrópiája 228,49-ről 231,08 J/(mol·K) érték-



6. ábra. Izentróp típusú munkaközeg közötti különbségek bemutatása izentropikus expanzíós folyamatok segítségével

re növekszik [14], ami 1,13%-os értéknövekedést jelent. (5. ábra), de ez entrópia ebben az esetben sem lesz konstans egy véges, nem nulla hőmérséklettartományban. Két modell állapotegyenlettel (VAN DER WAALS és REDLICH KWONG) elvégzett elméleti vizsgálatok [4],[15] is alátámasztják az állítást, miszerint tökéletesen izentropikus munkaközeg valószínűleg nem létezik.

Ennek fényében az izentropikus kategória újra definiálása szükségessé válik. Az adatbázisban szereplő anyagok és az imént említett modell közegekkel végzett számítások alapján az jó közelítéssel izentropikus munkaközeg gőzoldali telítési görbéje is egy fordított S-alakot formál. A kritikus pontot követő magas hőmérsékletű negatív meredekségű szakasz után egy pozitív következik, majd ismét negatív. Ez jellemzi a valós izentropikus munkaközegeket. Másként megfogalmazva: létezik olyan száraz telített gőz állapot, amiből izentropikus expanzíót végrehajtva a közeg száraz telített gőz állapotba kerül, úgy hogy közben nincs cseppképződés, tehát a közeg fajlagos gőztartalma végig $q = 1$. Vegyük észre, hogy ez nem egy új, csak egy módosított definíció a korábbihoz képest és nem lehet igaz a nedvesítő és szárító típusú munkaközegekre!

A 6. ábra néhány valós izentropikus munkaközeg T - s diagramját mutatja be, pár izentropikus expanzíós vonalat is berajzolva. Habár ezek a munkaközeg magas hőmérsékleten szárítónak, míg alacsony hőmérsékleten nedvesítőként viselkednek, érdemes megtartani az izentropikus kategóriát. Ezekben az esetekben is jól látható az új definíció tükrében, hogy telített száraz gőz állapotból induló izentropikus expanzíó végződhet száraz telített gőz állapotban $(1) \rightarrow (2)$ és $(3) \rightarrow (4)$ az (a) ábrán, hasonlóan az ideális izentropikus munkaközegnek látható expanzíó kezdő- és végpontjához. Ugyanennek az ábrának a (b) és (c) része azt mutatja be, hogy a gőzoldali telítési görbe fordított S-alakjának jellege hogyan befolyásolhatja az izentropikus expanzíó végállapotát. A gyakorlat szempontjából legégetőbb kérdés, hogy az expanzíó során kell-e számítani cseppképződésre, és ha igen, akkor milyen mértékben. Míg az ábra (c) részén látható példában a munkaközeg „könnyű” túlhevített állapotban tartani végig az expanzíó során, a (b) eset alacsony hőmérsékletű részen ez gyakorlatilag elkerülhetetlen, hacsak nem fejezzük be magasabb nyomáson az expanzíót, ami ugyanakkor a körfolyamat termikus hatásfokának csökkenését eredményezi.

A leírt igen jelentős elméleti és gyakorlati különbségek egy ugyanazon kategóriába sorolt munkaközeg között, a kategóriák kibővítését teszik szükségessé. Az iménti gondolatmenetből belátható, hogy ez az új kibővített osztályozási rendszer kompatibilis kell, hogy legyen a korábbival (nedvesítő, szárító és izentropikus), viszont a pontosabb definíciókkal és kategóriákkal elősegítik a könnyebb munkaközeg-választást.

Az újszerű osztályozási rendszer

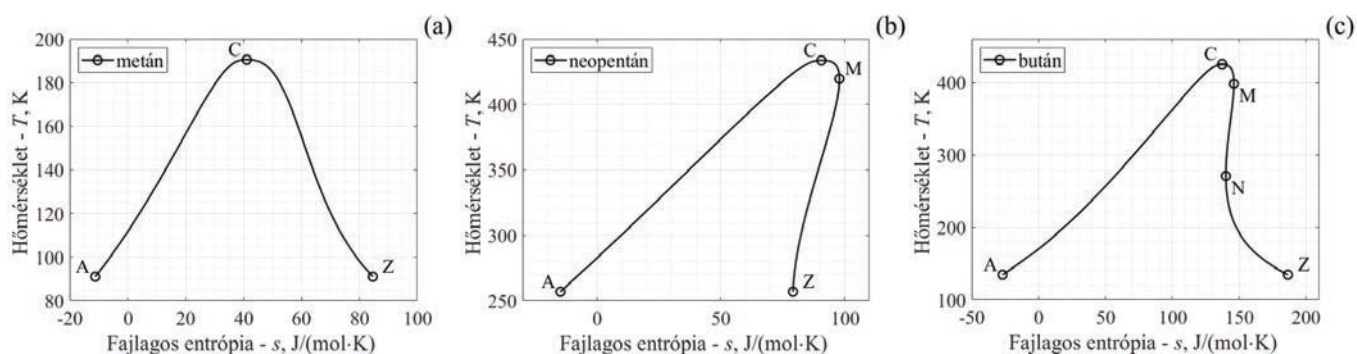
Az újszerű osztályozási rendszer a régihez hasonlóan szintén a munkaközeg T - s diagrambeli telítési görbéjének alakja alapján történik, azonban bevezetünk a T - s görbén egyértelműen definiálható karakterisztikus pontokat.

Karakterisztikus pontok

Az új kategóriák egzakt definiálásához öt karakterisztikus pontot vezetünk be, melyek közül hármat elsődlegesnek, kettőt pedig másodlagosnak nevezünk. A karakterisztikus pontok a munkaközeg T - s telítési görbéjén helyezkednek el. Ezen karakterisztikus pontok egymáshoz képesti elhelyezkedése, vagy maga a létezése adja az újszerű osztályozás alapját. A három elsődleges karakterisztikus pont minden munkaközegre létezik, míg a másodlagosak csak a szárító és izentróp típusúaknál léteznek. A karakterisztikus pontokat a 7. szemlélteti a metán (nedvesítő), neopentán (szárító) és a bután (izentróp) példáján keresztül.

- Az „A” és „Z” elsődleges karakterisztikus pontok rendre az alsó és felső (folyadék és száraz gőz) telítési görbék legalacsonyabb hőmérsékletű pontjait jelölik. A legalacsonyabb hőmérsékletű pont így az anyag hámasponti hőmérsékletéhez köthető, de ennél magasabb hőmérsékletnél is definiálható A és Z pont, mint például a körfolyamat környezetének (hőelvonási) hőmérséklete, mely esetben ezek jelölésére A^* és Z^* használható. Az A és Z pont (pontosabban A^* és Z^*) környezeti vagy más technológiai korlát miatti a hámaspontinál magasabb hőmérsékleten történő definiálására és hatásaira a cikk keretén belül nem térünk ki. Erről részletesebben a [17] és [18] referenciákban tájékozódhat az olvasó.
- A „C” elsődleges pont a kritikus pontot jelöli, ami a T - s görbén a legnagyobb hőmérsékletű pont, matematikailag a telítési görbe entrópia szerinti maximuma: $(dT/ds) = 0$.
- „M” és „N” másodlagos karakterisztikus pontokat a gőzoldali telítési görbe hőmérséklet szerinti lokális szélsőértékeiként definiálhatjuk: $(ds/dT)_{M,N} = 0$. az M pont eszerint egy lokális (sőt, bizonyos esetekben globális) maximumot jelent az N pedig egy lokális minimumot. A definíció szerint a nedvesítő közegeknek ezek a másodlagos karakterisztikus pontok nem léteznek, a szárító típusú közegeknek csak M pont, az izentrópoknál M és N pont is létezik. A 7. ábrán jól figyelemmel kísérhetők az előbb leírt karakterisztikus pontok.

Az elsődleges és másodlagos karakterisztikus pontok mellett definiálhatók harmadlagos pontok is, melyek az elsődleges és másodlagos pontok tengelyvettületeinek metszéspontjai a telítési gör-



7. ábra. Elsődleges (A, C, Z) és másodlagos (M, N) karakterisztikus pontok a T-s görbén nedvesítő (a), szárító (b) és izentróp (c) típusú munkaközegekre

bével. Az új szerű osztályozás szempontjából ezek nem relevánsak, ezért ezekre ennek a cikknek a keretein belül külön nem térünk ki. Jelentőségük abban áll, hogy a körfolyamatok adott hőforráshoz történő illesztését jelentősen megkönnyíthetik.

Megkötések

Ahogy már korábban is szó volt róla, az új szerű osztályozási rendszer a karakterisztikus pontok relatív elhelyezkedésén alapul. A karakterisztikus pontok fajlagos entrópiája szerinti növekvő sorrend adja meg a kategóriákat és azok elnevezését is ezáltal, mivel a pontok hőmérséklet szerinti sorrendje kötött, így minden esetben ugyanaz: $T_A = T_Z < (T_N < T_M <) T_C$. A zárójel arra utal, hogy N és M pontok nem léteznek minden kategóriánál.

A karakterisztikus pontok létezésére a következő megállapításokat tehetjük:

- A, C és Z elsődleges pontok minden munkaközegre megadhatók.
- A nedvesítő típusú munkaközegekre másodlagos pontok (M és N) nem adhatók meg.
- A szárító típusú munkaközegekre csak M másodlagos pont definiálható.
- Izentróp típusú munkaközegek esetén M és N másodlagos pont is létezik.
- Ha N pont létezik, akkor szükségszerűen M pont is létezik, de fordítva ez nem igaz.

Emellett a következő megkötéseket tehetjük a karakterisztikus pontok egymáshoz képesti entrópia szerinti növekvő sorrendjét illetően:

- Az A pont entrópiája mindig a legkisebb.
- Az M pontnak mindig nagyobb az entrópiája a C ponténál (feltéve, hogy létezik).
- Ha N pont nem létezik, akkor M pontnak van a legnagyobb entrópiája. (Ha M pont sem létezik, akkor Z pont entrópiája a legnagyobb.)
- Az N pontnak mindig kisebb az entrópiája, mint M és Z pontoknak.

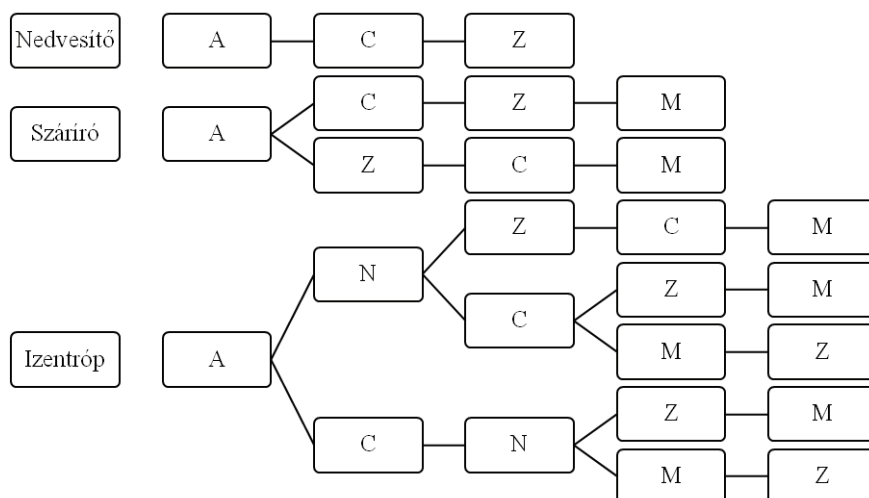
Az új kategóriák

Mivel az új osztályozási rendszer kompatibilis a régivel, ezért továbbra is használni fogom a klasszikus kategóriák elnevezéseit. Ahogy korábban is már említettem, az új kategóriák

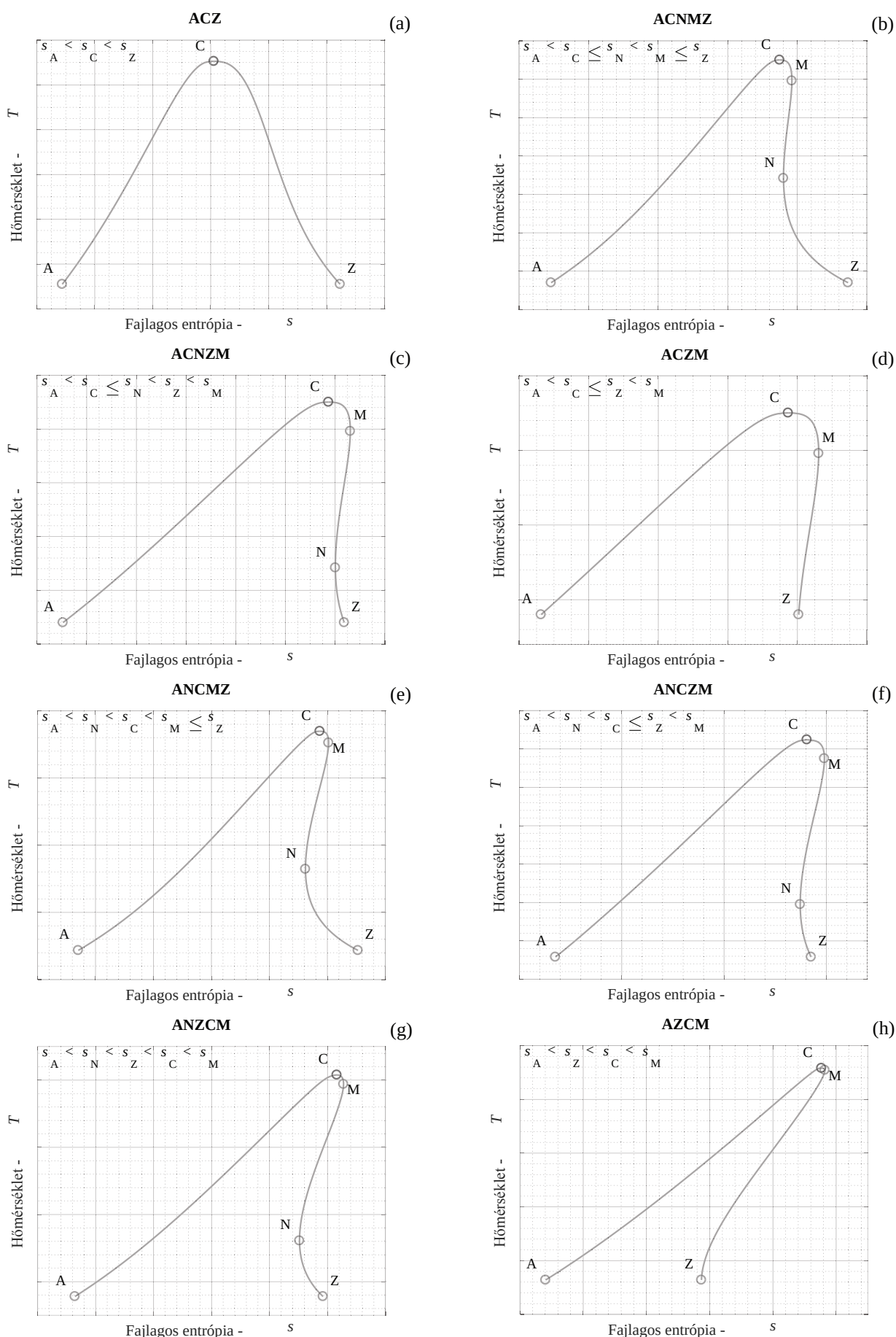
a karakterisztikus pontok fajlagos entrópia értékeinek növekvő sorrendjén alapul és ez alapján képezzük ezek neveit, úgymond szekvenciákat létrehozva.

Az előző fejezet 1) megkötése szerint, minden új kategória (szekvencia) A-val kezdődik. Ha ezek után pusztán matematikailag (permutáció) megnézzük a lehetséges szekvenciák számát, figyelembe véve az előző fejezetben a régi kategóriákra tett megállapításokat is, könnyen beláthatjuk, hogy $2! = 2$ darab nedvesítő, $3! = 6$ darab szárító és $4! = 24$ darab izentróp típusú kategóriát definiálhatunk, mely összesen 32 kategóriát jelent. Az előző fejezet további megállapításai és megkötései alapján azonban ezek száma csökkenni fog.

- Az előző fejezet b) megállapítása a nedvesítő típusú szekvenciák számát egyre csökkentő kettőről, mivel a nedvesítő típusnál nincsenek másodlagos pontok, így M se, ami egy entrópia szélsőértéket jelent, a Z pont entrópiája mindenképpen nagyobb lesz a C ponténál. Tehát egyetlen nedvesítő típusú új kategória definiálható: A-C-Z, kizárva A-Z-C esetet. A 7. ábra (a) része egy tipikus példát ad erre a szekvenciára.
- A 2) megkötés a matematikailag képezhető 6 szárító típust 3-ra csökkenti: az M pont sosem előzheti meg a C pontot, így 3 lehetőséget kizár, név szerint A-M-C-Z, A-M-Z-C és A-Z-M-C lehetőségeket. A 3) megkötés még eggyel csökkenti ezt a számot, mivel kizárja A-C-Z-M lehetőségét is, N pont nemlétezése miatt. Így összesen kettő darab szárító típusú szekvencia létezik: A-C-Z-M és A-Z-C-M.



8. ábra. Az új szerű osztályozási rendszer kategóriái (szekvenciái) és kompatibilitásuk a klasszikus osztályozási rendszerrel



9. ábra. Az új osztályozási rendszer szerinti kategóriák tiszta munkaközegekre:
(a) – nedvesítő; (b),(c),(e),(f),(g) – izentróp; (d),(h) – szárító

- A matematikailag lehetséges 24 izentróp típusú szekvenciából (M és N pontok is léteznek), az előző fejezet 2) megkötése kizárja azokat a lehetőségeket, ahol az A pontot közvetlenül az M pont követi, hiszen M pont entrópiája mindig nagyon C ponténál. Ennek figyelembevételével a lehetséges szekvenciák száma hattal (3!) csökkent, 24-ről 18-ra. A 4) megkötés – amelynek értelmében Z pont nem következhet közvetlenül az A pont után – további hat (3!) lehetőséget zár ki. az így maradó 12 szekvenciára alkalmazva a 2) és 4) megkötéseket, végül öt izentróp típusú kategóriát kapunk.

A 8. ábra fa diagramja a lehetséges szekvenciákat ábrázolja, míg a 9. ábra magukat a szekvenciákat (új kategóriákat) T -s diagramban.

Ezekkel az új kategóriákkal tulajdonképpen a hagyományos kategorizálási rendszer csoportjait bővítjük ki, így ezek akár alkategóriáknak is tekinthetők. A két kategorizálási rendszer egymással való kompatibilitása így vitathatatlan. Az új kategóriák nevéként innentől kezdve a definiált szekvenciák betűsorát használom kötőjelek nélkül. mint például ACZ vagy ACZM.

Bár elméletileg lehetséges, hogy két karakterisztikus pontnak megegyezzen az entrópiája (pl. $s_C > s_Z$ vagy $(s_M > s_Z)$, de a következő két ok miatt ezekkel az esetekkel nem foglalkozunk, mivel ezek egyszerűen besorolhatók a már meglévő kategóriákba, és ilyen esetekben az úgynevezett harmadlagos pontokból néhány egybe esik az elsődleges vagy másodlagos pontokkal. Ugyanakkor ezeket az elméleti felvetéseket a [17] referencia melléklete taglalja.

Annak ellenére, hogy a számos egykomponensű munkaközeg adatai álltak rendelkezésre a kutatások során, ezeknek csak kis hányada felelne meg ipari használatra. A legelterjedtebb és szabadalommal nem védett ORC munkaközeg: R245fa (ACNMZ), toluol (ANZCM), n-pentán (ANCMZ), R134a (ACZ), ammónia (ACZ) és szén-dioxid (ACZ). Egy nagyobb lista a [17] és [18] referencia mellékletében található.

Az új kategóriák részletes bemutatása

A hagyományos gőz- és az ORC erőművek egyik sarkalatos tervezési szempontja az expanderben (turbinában) a cseppképződés elkerülése vagy legalábbis annak határértéken belül tartása. Ennek vizsgálatára nagyon hatékony módszer a lehetséges expanzíós folyamatok fajlagos gőztartalom hőmérséklet (q - T) diagramban történő ábrázolása. Az egykomponensű kétfázisú munkaközeg fajlagos gőztartalmát a következő összefüggéssel definiáljuk:

$$q = \frac{\text{száraz telített gőz mennyisége}}{\text{teljes kétfázisú közeg mennyisége}} \left[\frac{\text{mol}}{\text{mol}} \right] \text{ vagy } \left[\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right]$$

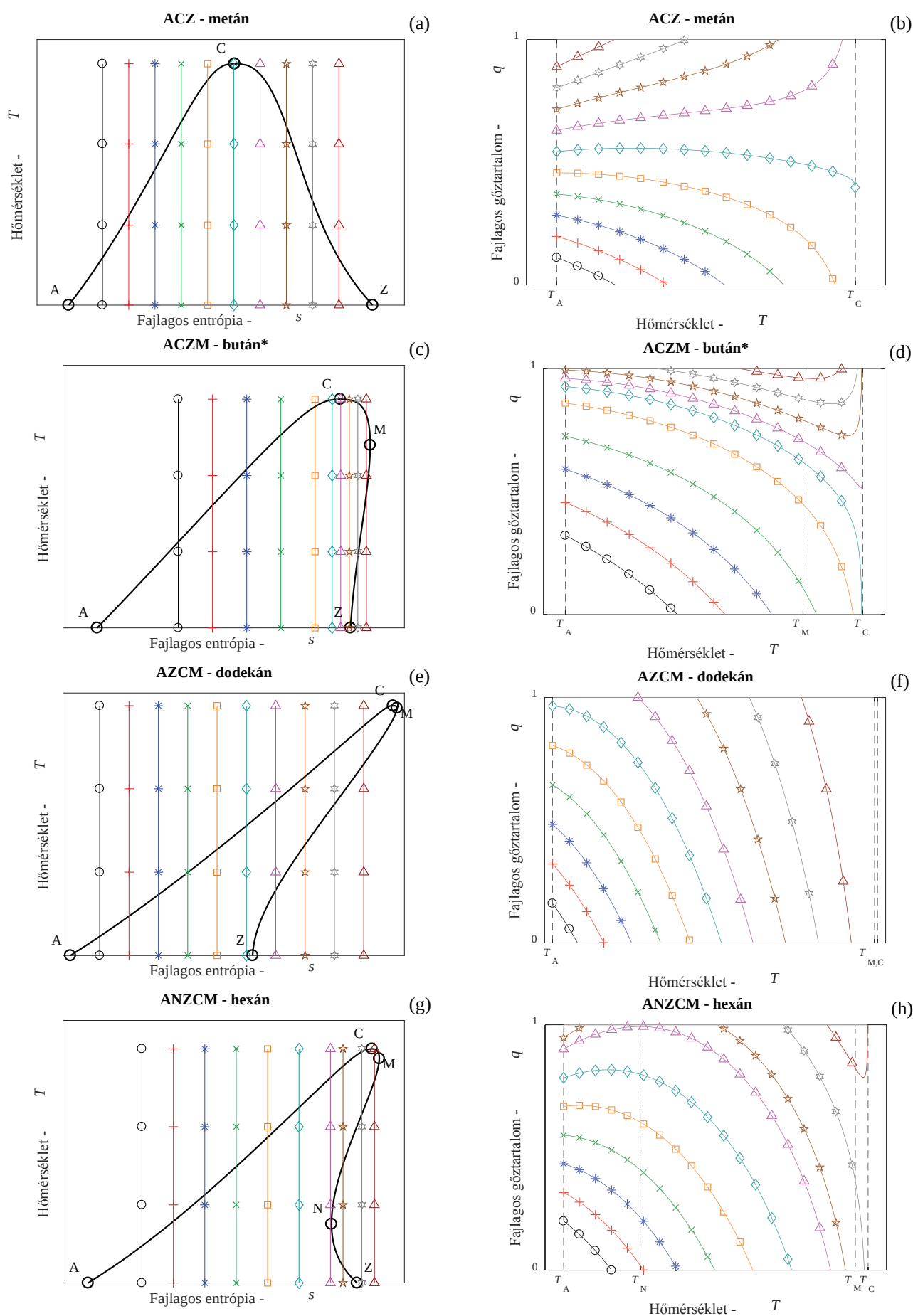
A fajlagos nedvességtartalma a kétfázisú közegnek ebből kifelé 1- q . A meghatározás szerint a fajlagos gőztartalom 0..1 között változó érték lehet. Ha a kétfázisú közeg teljes egészében (telített) folyadék állapotban van, akkor a fajlagos gőztartalom 0, míg a fajlagos nedvességtartalma 1. Ha a kétfázisú közeg teljes egészében (telített száraz) gőz állapotban van, akkor a fajlagos gőztartalom 1, míg a fajlagos nedvességtartalma 0. Aláhűtött folyadék fajlagos gőztartalma 0, míg túlhevített gőzé 1, bár mivel ezek egyfázisú állapotok, nem feltétlenül definiálható esetükben ez a mennyiség. A cikk keretein belül minden q - T diagramban csak egyensúlyi állapotokat ábrázolunk, ezért a gyors expanzió során lehetségesen bekövetkező metastabil állapot lehetőségével [16],[19] nem foglalkozunk. Mivel a reverzibilis adiabatikus expanzió során a nyomás a

hőmérsékletből és a kiindulási állapotból meghatározható mind az egy-, mind a kétfázisú régióban, ezért elegendő a kétdimenziós q - T diagram a háromdimenziós p - q - T helyett [12]. A nyolc új kategória q - T diagramja a hozzájuk tartozó T -s diagrammal együtt a 10. ábrán látható. Minden kategóriánál tíz-tíz izentróp vonal látható mindkét diagramban. Az aláhűtött folyadék és túlhevített gőz állapotok a korábban leírtak alapján és a jobb szemléltetés érdekében nem szerepelnek a q - T diagramon.

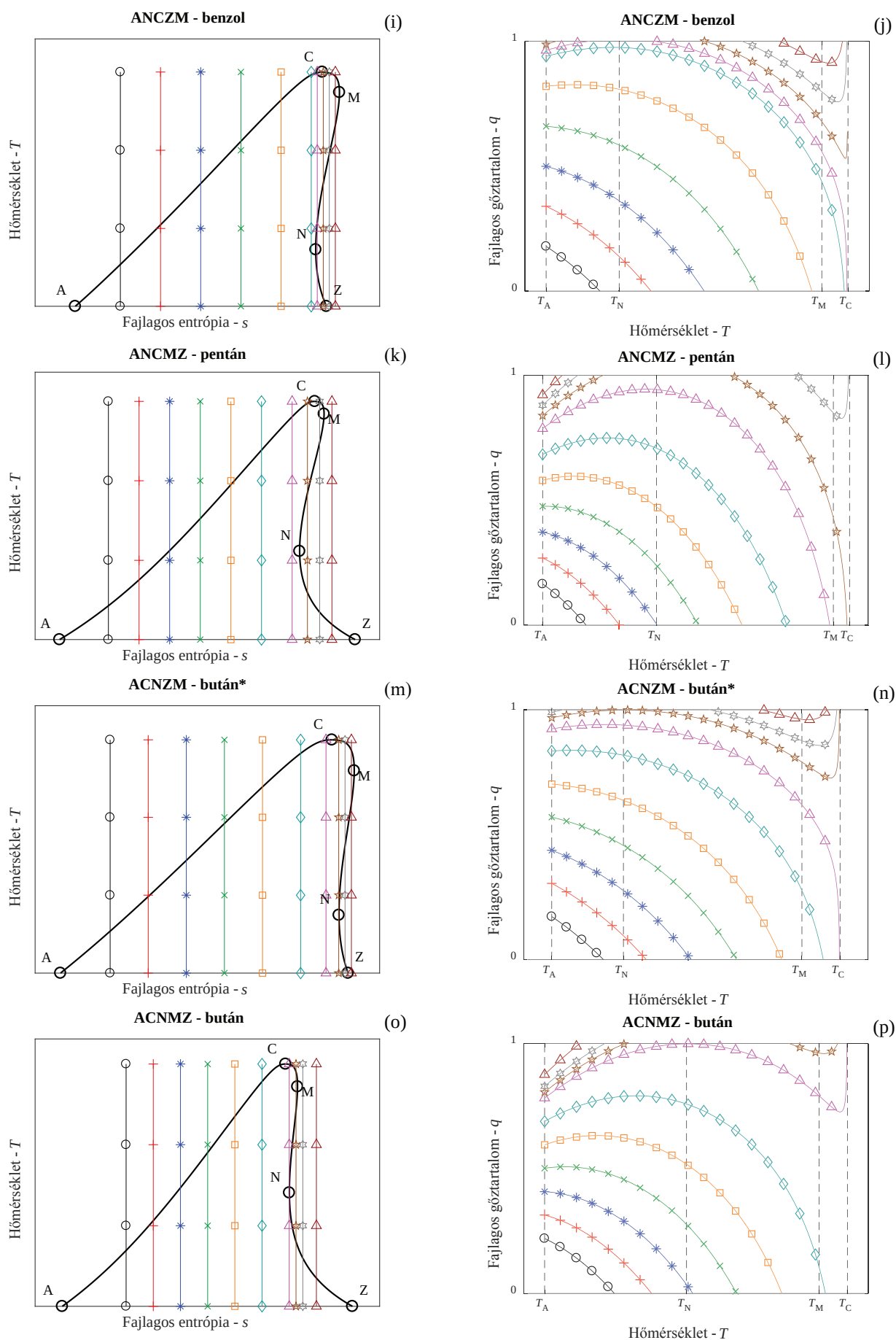
A 10. ábra (a) és (b) része az egyetlen nedvesítő típusú munkaközeg T -s és q - T diagramjait mutatja. A q - T diagramban az izentróp vonalak egyenletesen helyezkednek el A és Z karakterisztikus pontok között. A nedvesítő munkaközeg az új osztályozási rendszerben ACZ típusúak. Jól látható a diagramokon, hogy az ACZ típusú munkaközegek esetén szükséges a gőz nagyfokú túlhevítése (3. ábra (a) és (b) része) az expander kisnyomású szekciójában fellépő cseppképződés elkerüléséhez vagy elfogadható szinten tartásához. Erre a típusra klasszikus példa a víz (H_2O), ami a hagyományos gőzerőművek munkaközeg, vagy a szén-dioxid. Az ábrán használt skálán nem látható, de a kritikus ponthoz tartozó expanzíós görbe végén (a kritikus hőmérséklet közvetlen közelében) minden esetben (minden anyagnál) lesz egy kis rész, ahol q növekedni fog, kivéve, ha nem éri el a kritikus hőmérsékletet [12].

A 10. ábra (c) (f) részei mutatják a két szárító típusú kategóriát, név szerint az ACZM és AZCM osztályokat. A kettő közötti különbséget leginkább a q - T diagramjaikon lehet szemléltetni, melyről és melynek jelentőségéről már a korábbi fejezetben volt szó. Láthatjuk, hogy nincs olyan izentróp vonal az ACZM osztályban, amelynek fajlagos gőztartalma 0 és 1 között minden értéket felvenne. Ez azt jelenti, hogy izentropikus expanzióval nem lehetséges teljesen elgőzöltetni a folyadékot az ACZM típusú munkaközegek esetében, ugyanakkor az AZCM típusú szárító munkaközegeknél ez lehetséges (elméletileg). Erre példa izentróp vonalak a négyzet, deltoid, háromszög és ötágú csillag jelű (sorrendben narancssárga, türkiz, rózsaszín és barna) vonalak. Az nedvesítő típusúval (ACZ) ellentétben, mindkét szárítónál (ACZM és AZCM) léteznek olyan izentróp vonalak, melyek a C és M karakterisztikus pontok között futnak. Ebből következik, hogy ezek az izentróp vonalak szükségszerűen átszelik a kétfázisú (nedves) mezőt, tehát metszik a gőz telítési görbét ($q = 1$), majd ezután a fajlagos gőztartalmuk csökkenve eléri egy maximális nedvességtartalmat. Ez a maximális nedvességtartalom annál nagyobb, minél közelebb fut az adott izentróp vonal a C ponthoz. Ezután növekvő fajlagos gőztartalom mellett ismét elmettszik a telítési görbét ($q = 1$) és kilépnek a nedves mezőből az egyfázisú, túlhevített gőz régióba, ahol a szárító jellegű telítési görbe miatt növekszik a túlhevítettségük mértéke, ahogy tovább expandál a közeg az alacsonyabb nyomásokra (hőmérsékletekre). Mivel az expanzió így a túlhevített régióban fejeződik be, szükséges egy rekuperatív (előmelegítő) hőcserélő beépítése (3. ábra (c) és (d) része). Jól látszik még, hogy a nedves mezőbe történő belépés az M pontnál magasabb, míg a kilépés onnan az M pontnál alacsonyabb hőmérsékleten (nyomáson) történik.

A 10. ábra (g)-(p) részei mutatják az izentróp típusú munkaközegeket. Az, hogy az AZCM szárító típusúhoz hasonlóan létezik-e olyan izentróp vonal, melynek a fajlagos gőztartalma 0..1 között folytonosan változik, azon múlik, hogy az N másodlagos karakterisztikus pont entrópiája kisebb vagy nagyobb, mint a C ponté. Ha kisebb, tehát N pont a C előtt van (mint például az ANZCM osztálynál, (g) és (h) rész), akkor lehetséges elvben a folyadék teljes elgőzöltetése izentropikus expanzióval. Viszont van olyan



10. ábra. Az új osztályok T-s és q-T diagramjai



10. ábra folytatása

izentróp, ahol ez utóbbi úgy is megvalósítható, hogy az expanzió egészen az A pont hőmérsékletéig történik, többinél ehhez magasabb hőmérsékleten (nyomáson) kell azt befejezni, különben újra megjelennek a folyadékcseppek. Ezek az izentróp vonalak a folyadék oldalon kezdődnek ($q=0$), a teljes elgőzölgés ($q=1$) után kilépnek a kétfázisú mezőből, majd újra belépnek az N pontnál alacsonyabb, de az A pontnál magasabb hőmérsékleten (lásd q - T diagram alacsony hőmérsékletű és nagy fajlagos gőztartalmú része). A két másik osztály, ahol N pont entrópiája kisebb C pontnál, hasonlóan viselkedik, de természetesen a Z pont relatív helye határozza meg az izentróp vonalak fajlagos gőztartalmát az alacsony hőmérsékletű régióban. Az expander szempontjából az ANZCM osztály (10. ábra (g) és (h) része) tűnik a legkedvezőbbnek, viszont továbbra is szükséges egy rekuperatív előmelegítő, ami lehűti a gőzt mielőtt az a kondenzátorba lépne. Az ANCZM osztály (10. ábra (i) és (j) része) esetén a cseppképződés alacsony nyomásszinteken is teljesen elkerülhető (legnagyobb izentróp vonal). Az ANCMZ osztály esetén viszont erre csak úgy van lehetőség, ha túlhevített gőz állapotból indul az expanzió, vagy az A pontnál magasabb hőmérsékletig (nyomásig) expandál a munkaközeg. Utóbbi esetben, ha viszont az izentropikus expanzió az A pont hőmérsékletéig tart, akkor biztosan a kétfázisú mezőben fejeződik be az expanzió.

Azok az izentróp típusú osztályok közelítik meg legjobban az ideális izentróp viselkedést, ahol az N pont entrópiája nagyobb a C pontnál (10. ábra (m) és (n) része). Az ACNZM osztálynál a cseppképződés úgy kerülhető el, ha olyan izentróp vonalon történik az expanzió, ami nagyon közel van az M ponthoz. Ebben az esetben nem lesz szükség túlhevítésre. Amennyiben az expanzió a C és M pont között hőmérsékletre indul, akkor is relatív kis mértékű cseppképződéssel kell csak számolnunk az alacsony nyomású részen (10. ábra (n) része). Az ACNMZ osztály (10. ábra (o) és (p) része) esetében cseppképződéssel kell számolni az alacsony nyomású régióban, ha nem alkalmazunk túlhevítést. Ha a Z pont entrópiája nem sokkal haladja meg M pontét, akkor a cseppképződés az alacsony nyomású részen is elfogadható határon belül tartható ($q > 0,92$) [5]. Ugyanakkor minél nagyobb a Z pont entrópiája (M pontéhoz képest), annál nagyobb mértékben kell túlhevítést alkalmaznunk az expander lapátjainak védelme érdekében. Könnyen belátható, hogy egy relatív nagy entrópiájú Z pont esetén az izentróp munkaközeg az alacsony nyomású részen nedvesítőként viselkedik.

Az 1. táblázatban minden osztályra egy-egy munkaközeg is szerepel példaként. Ahogyan korábban már volt róla szó, ACZM és ACNZM (szárító és izentróp) osztályokra nem találtunk példát sem valós, sem modellrendszereknél, legalábbis, ha az A és Z pontok

kat a munkaközeg hármast ponti hőmérsékletén vesszük fel. A és Z pontok más – például a környezeti – hőmérsékleten történő felvételével, ahogy korábban is említettük a cikk keretein belül nem foglalkozunk. Ezzel kapcsolatos további információkat a [17] és [18] referenciákban találhat az olvasó.

Bár csábító a gondolat, hogy az új osztályozási rendszerrel kapott egyik osztályt az ORC technológia „legjobb” munkaközeg osztályának jelentsük ki, de természetesen ilyet nem tehetünk. Ha pusztán csak a termodinamikai tulajdonságokat tekintjük, a hagyományos osztályozási rendszerben az izentróp munkaközegek a legjobbak, így konzekvens a gondolat, hogy a „legjobb” munkaközeg egy izentróp osztály kell, hogy legyen (ANZCM, ANCZM, ANCMZ, ACNZM és ACNMZ). Mint ahogyan a 6. ábra is mutatja, a „legjobb” expanzió megválasztása (magas hőmérsékletű telített száraz gőz állapotból alacsony hőmérsékletű telített száraz gőz állapotba) nagyrészt a körfolyamat legnagyobb és legkisebb hőmérsékletétől függ. Így egy munkaközeg, amely optimális egy adott hőforráshoz, lehet, hogy más hőforrásnál sokkal rosszabb. Ez nem az új osztályozási rendszer hibájának tekintendő, hanem éppen ellenkezőleg, ez a munkaközegek termodinamikájának jobb és részletesebb megnyilvánulásának jelentősége.

Összefoglalás

A hagyományos három osztályos (nedvesítő, szárító, izentróp) osztályozási rendszer nem kellően megbízható az ORC egységek expanderében expandált alacsony nyomású gőz nedvességtartalmának becslésére. A cikkben egy újszerű, finomabb (több osztályos) osztályozási rendszer javaslatát találjuk, mely a régi osztályozási rendszerben felmerült problémákat kiküszöböli és könnyebbé teszi termodinamikai értelemben a munkaközeg-választást adott hőforráshoz.

Az új osztályozási rendszer néhány – a munkaközeg T - s diagramján – jól definiálható karakterisztikus pont létezésére és egymáshoz képesti elhelyezkedésén alapszik, tulajdonképpen a telítési gőz görbe alakján. Az így definiált osztályokat a karakterisztikus pontjaik elhelyezkedése alapján neveztük el, entrópia szerinti növekvő sorrendben, úgynevezett szekvenciákat alkotva, mely egyértelművé és kvalitatíve jól rekonstruálhatóvá teszi az olvasó számára az egyes osztályokat.

Az új osztályozási rendszerben nyolc osztály van, melyek elvi és gyakorlati különbségeket is mutatnak az ORC technológiában való alkalmazhatóságuk tekintetében. A cikkben ezekre az osztályokra példákat is talál az olvasó. A szerzők egy korábbi munkájában megjelent kibővített munkaközeg listát is talál az olvasó a referenciák között. Az új osztályozási rendszerrel és hozzá kapcsolódó munkaközeg-adatbázissal adott hőforráshoz termodinamikai szempontból hatékonyabban választható munkaközeg.

Köszönetnyilvánítás

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

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberei Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Mesterséges intelligencia (BME FIKP-MI) tématerületi programja keretében.

1. táblázat. Példa munkaközegek az új osztályokra

Új kategória	Régi kategória	Munkaközeg
ACZ	nedvesítő	víz, metán, szén-dioxid
ACNMZ	izentróp	bután, fluor-triklórmétán
ACNZM	izentróp	—
ACZM	szárító	—
ANCMZ	izentróp	pentán, toluol (metilbenzol)
ANCZM	izentróp	benzol
ANZCM	izentróp	hexán, heptán
AZCM	szárító	neopentán, dodekán

Irodalomjegyzék

- [1] ORC World Map. <http://orcworldmap.org/>; 2018.
- [2] Tabor H., Bronicki L.: Establishing criteria for small vapor turbines, SAE Technical Paper, 640823. 1964. <https://doi.org/10.4271/640823>
- [3] Badr O., Probert S. D., O'Callaghan P. W.: Selecting a working fluid for a Rankine cycle engine, *Applied Energy* 1985;21:1-42. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(85\)90072-8](https://doi.org/10.1016/0306-2619(85)90072-8)
- [4] Groniewsky A., Györke G., Imre A. R.: Description of wet-to-dry transition in model ORC working fluids. *Applied Thermal Engineering* 2017; 125:963-71.
- [5] Chen H, Goswami DY, Stefanakos EK. A review of thermodynamic cycles and working fluids for the conversion of lowgrade heat. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:3059.
- [6] Garrido José Matías, Quinteros-Lama Héctor, Mejía Andrés, Wisniak Jaime, Segura Hugo. A rigorous approach for predicting the slope and curvature of the temperature-entropy saturation boundary of pure fluids. *Energy* 2012;45:888-99.
- [7] Mazur VA, Nikitin D. Sustainable working media selection for renewable energy technologies. In: World renewable energy congress" (WREC 2011), Linköping, Sweden; May 8-13, 2011. p. 856-66.
- [8] Bao J, Zhao L. A review of working fluid and expander selections for Organic Rankine Cycle. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;24:325-42.
- [9] Luo D, Mahmoud A, Cogswell F. Evaluation of Low-GWP fluids for power generation with Organic Rankine Cycle. *Energy* 2015;85:481-8.
- [10] Garg Pardeep, Orosz Matthew S, Kumar Pramod. Thermoeconomic evaluation of ORCs for various working fluids. *Appl Therm Eng* 2016;109:841-53.
- [11] Roedder M, Neef M, Laux C, Priebe K-P. Systematic fluid selection for Organic Rankine Cycles and performance analysis for a combined high and low temperature cycle. *J Eng Gas Turbines Power Trans ASME* 2016;138:031701.
- [12] Imre A. R., Quiñones-Cisneros S. E., Deiters U. K.: Adiabatic processes in the liquid vapor two phase region – 1. Pure fluids. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 2014; 53:13529-42.
- [13] Fischer J.: Comparison of trilateral cycles and Organic Rankine Cycles. *Energy* 2011; 36:6208-19.
- [14] NIST Chemistry WebBook (2018.02.25-ig feltöltött adatok alapján): <https://webbook.nist.gov/chemistry/>
- [15] Groniewsky A., Imre A. R.: Prediction of the ORC working fluid's temperature entropy saturation boundary using Redlich Kwong equation of state. *Entropy* 2018, 20, 93; doi:10.3390/e20020093
- [16] Debenedetti PG. Metastable liquids – concepts and principles. Princeton, NJ: Princeton University Press; 1996.
- [17] Györke G., Deiters U. K., Groniewsky A., Lassu I., Imre A. R.: Novel classification of pure working fluids for Organic Rankine Cycle. *Energy* 145 (2018) 288-300.
- [18] Györke G., Groniewsky A., Imre A. R.: A Simple Method of Finding New Dry and Isentropic Working Fluids for Organic Rankine Cycle. *Energies* 2019, 12, 480; doi:10.3390/en12030480 and supplementary material: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/3/480/s1>
- [19] Imre AR, Baranyai A, Deiters UK, Kiss PT, Kraska T, Quiñones-Cisneros SE. Estimation of the thermodynamic limit of overheating for bulk water from interfacial properties. *Int J Thermophys* 2013;34:2053-64.
- [20] Xue F, Chen Y, Ju Y. A review of cryogenic power generation cycles with liquefied natural gas cold energy utilization. *Front Energy* 2016;10:363-74.

Dr. Szondi Egon János (1937–2018)

Szakfolyóiratunk kritikusa, gyakori szerzője fontosnak tartotta a hatékony energiagazdálkodást, környezetünk védelmét. Legutóbb, az Energiagazdálkodás 2018. évi 3-4. számában az ivóvíz hiány megoldásának egyik módjára, az atomerőműves sótalanításra hívta fel a figyelmet. Kereste az új megoldásokat, példát mutatott a megvalósításukra. Az ETE Szenior Energetikusok Klubjának munkájában – 2018. december 10-én bekövetkezett haláláig – aktív tagként vett részt.

Szondi Egon János 1937. július 13-án született Budapesten. Gépészmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán nyerte 1964-ben. Hét évvel később, 1971-ben Reaktortechnika Szakmérnöki diplomát szerzett a Budapesti Műszaki Egyetem Természettudományi Karán. Műszaki doktori címét 1972-ben szerezte



szintén a Budapesti Műszaki Egyetemen. Szakmai munkáját Budapesten, az Energiagazdálkodási Intézetben kezdte, ahol tervező mérnökként dolgozott 1974-ig. Itt hamarosan a Cellatron Számítógépi Csoport vezetője lett, és ettől kezdve a tervezői munka mellett számítógépi programozással is foglalkozott. 1974-től nyugdíjba meneteléig (1996) a Budapesti Műszaki Egyetem atomreaktoránál, a Nukleáris Technikai

Intézet tudományos munkatársaként dolgozott. Munkája nappali egyetemi hallgatók és szakmérnök hallgatók oktatása, továbbá tudományos kutatás volt a reaktortechnika területén, valamint reaktor operátori teendőket is ellátott. Számos nemzetközi, reaktortechnikával kapcsolatos projekt megvalósításában vett részt, széles nemzetközi együttműködés keretében. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) számára mintegy 15 éven át végzett tudományos munkát.

Emlékét kegyelettel őrizzük, nyugodjon békében!

Mesterséges vulkánhatással a globális hőmérséklet csökkentése?

Reményi Károly

okl. gépészmérnök és okl. villamosmérnök, remeni1@freemail.hu

Az utolsó évtizedekben a társadalom minden területen folyó tevékenységénél gyakorlatilag elsődleges szempont volt annak a klímaváltozásra gyakorolt hatása. Az éghajlatnak evidens természeti változása mellett, kiemelten nagy szerepet tulajdonítottak az emberi tevékenységnek, különösen a nagy energiahordozókat felhasználó iparágaknak, mint pl. az energetikának és a közlekedésnek. Általánosan elismerve a klímafolyamatoknak rendkívüli bonyolultságát, mégis az alsó légkör felmelegedése került a középpontba. Valóban hatása van a légkör összetételének, az ún. „üvegházhatás” jelenségében szerepet játszó háromatomú gázoknak, elsősorban a CO_2 , CH_4 és N_2O komponenseknek, de a hatásukat eltűlozzák, E gázok csökkentésére létrehozott világméretű, gigantikus mozgalom széles körben ismert, de számos eljárás, sokszor nevetséges, sokszor veszélyes, vagy lehetetlenül nagy költséget igénylő ötlet is született. Egy eljárásra, a természetben, történelmi időben gyakran nevezhető, nagy vulkánkitörések-kor jelentkező hőmérsékletcsökkenés adott ötletet. Komoly nagy tudósok és intézmények beszálltak e lehetőség vizsgálatába. A vizsgálatok nagy száma ellenére még igen kezdeti állapotban vannak és felületesek, de érdemes elgondolkodni a megvalósíthatóságon és az eljárásnak földi életre ható súlyos következményein.

*

Much of the stratospheric sulphate aerosols – sulfuric acid, H_2SO_4 – are formed through both anthropogenic and natural processes such as volcanic eruptions. Volcanic eruptions of this magnitude can impact global climate, reducing the amount of solar radiation reaching the Earth's surface, lowering temperatures in the troposphere, and changing atmospheric circulation patterns. The stratospheric veil of fine dust created by a large volcanic eruption (preferable near the equator) leads to transient cooling around the globe, especially in summertime and at high latitudes, due to an increase of planetary albedo. Stratospheric aerosol injection is a method for albedo modification that involves increasing the amount of small reflecting particles (aerosols) in the stratosphere. But it's a big endeavour that could have big consequences.

A légköri aeroszol hatása

Rögtön az elején le kell szögezni, hogy akár az elméleti megfontolások, akár a mérések alapján, a legnívósabb irodalmakban található adatok bizonytalansága is nagyon nagy. Az aeroszoloknak a sugárzási mérlegre gyakorolt hatását általában korrektül meg is írják, még pl. az IPCC jelentésekben is táblázatosan -0.7 (-0.3 -tól -1.8) W m^{-2} szerepel, és csak ábrán található a valószínűnek nevezett -0.7 érték.

Az aeroszolok szórási, abszorpciós és extinciók együtthatói függenek az aeroszol méret eloszlásától, az aeroszol törésmutatójától és keveredési állapotától. A belső keveredésnél a nedvesedés tovább befolyásolja a részecske méretét és alakját változtatva a fényszóródási és az abszorpciós tulajdonságokat és ez által a törésmutatót. Az aeroszolok hatnak a légkörre, de a légköri válto-

zások visszahatnak az aeroszol fizikai és kémiai tulajdonságaira. Az aeroszolok változását éghajlattól függően okozhatják fizikai jellemzők (hőmérséklet, páratartalom, csapadék, talajnedvesség, napsugárzás, szélsébség, a tengeri jég kiterjedtsége stb.), kémiai körülmények (az oxidálók rendelkezésre állása) és a biológiai környezet (plankton-sűrűség és a növényzeti borítottság és tulajdonságok stb.).

A légköri aeroszolok hatásai a jelentős bizonytalanság mellett, többféle módon jelentkeznek. Egyrészt a szórási és elnyelési tulajdonságaik szerint közvetlenül befolyásolják a légkör sugárzási mérlegét, másrészt, a felhő- és csapadékképződésben betöltött szerepükkel közvetett hatást is kifejtenek. Különösen bizonytalanok a közvetett sugárzási kényszerre való hatásra vonatkozó becslések.

A legjobban vizsgált javaslat jelenleg a sztratoszférába kén-szulfát aeroszol injektálása (Stratospheric Aerosol Injection SAI), amihez a szulfátokat nem azért választják, mert azok a legkedvezőbbek, hanem mert például a vulkánok okozta hatás ismeretében valamilyen alapot kapunk az alkalmazásukkor elérhető eredményekhez. Azt feltételezik, hogy a magas légköri (top-of-atmosphere, TOA) szulfát injektálás, $\text{Tg Syr}^{-1} / -0.25 \text{ W m}^{-2}$ érzékenységet ért el.

Fontos a SAI helye. Egy lehetőség például egyformán, az egyenlítőitől észak-felé és dél-felé is 15° és 30° szélességi fokok közötti területein elvégezni az injektálást. Az injektálási helyválasztás befolyásolja a kibocsátás magasságát, akár 20 km, vagy magasabb érték is szükséges.

Már előjáróban rögtön le kell szögezni, hogy a vulkáni aeroszolok, és így várhatóan a kén-injektálással létrehozott foszfát aeroszolok megjelenésével is jelentős káros hatások lépnek fel:

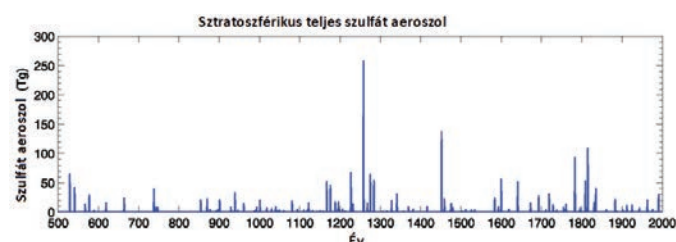
- A vulkáni aeroszol nem mérgező, de veszélyes az asztmában vagy más légúti betegségekben szenvedők számára. Irritálja a szem felületét.
- Nagy veszélyt jelent a repülőgépekre, károsítja a hajtóművet.
- A légköri rétegek változó felmelegedése és lehűlése miatt megváltozik a troposzférában és a sztratoszférában a légkörzés iránya és ereje is, ami időjárás-változást eredményez.
- Csak átmeneti a hűtő hatás. Az üvegházhatású gázok koncentrációja továbbra is növekszik.
- A biológiai sokféleségre való hatások teljesen ismeretlenek, nagy a kockázat. Az aeroszol-hatás megszűnésekor jelentkező sokkhatás nagyon erős folyamatokat indítana el a természetben.
- Jelentősek a teljes szulfát aeroszol-áramlások, például a két poláris régióban. Jégfuratokkal igazolva a Tambora után 59 kg/km^2 az Északi-sarkvidéken és 51 kg/km^2 az Antarktiszon, és a Pinatubo után 13 kg/km^2 az Északi-sarkvidéken és 15 kg/km^2 a jégfuratok szerint számítással az Antarktiszon.
- A lehulló savas eső növeli a tengerek és a vizek savasodását. A kén-dioxid ipari emissziója káros a környezetre, de az utóbbi évtizedekben a fejlettebb ipari országokban jelentősen csökkent a kibocsátás. Az általa okozott környezet károsítás is nagymértékben csökkent.

- A szerkezeti anyagok korrózióját növeli.
- A Solar Radiation Management (SRM) szabályozása lehetetlen

Vulkán kitörések

A nagyobb vulkánkitörésekkor hosszabb – rövidebb ideig tartó földfelület – közeli hőmérséklet csökkenés jelentkezett, ezért a csökkentési módszerek között erőteljesen megjelent a hasonló körülmények létrehozására való javaslat. A modellszimulált és műszeres globális átlaghőmérséklet méréseknek az elmúlt 150 évre való összehasonlítása során jó egyezést találtak a modell eredmények és a megfigyelések között. Bár a széleskörű irodalomban a vulkáni hatások értékeire néhány tizedfokos eltérések találhatók, ezeket mégis jelentősnek kell venni, mert abszolút értékben egymásnak többszörösét jelenthetik. Ezt tapasztalhatjuk jelen összefoglalásunk hivatkozásainál is. Közelebbi értékek voltak a hűtésre, kb. 0,2-0,3 K csökkenés a három trópusi kitörésnél, az 1883. Krakatau, a 1963. Agung és a 1991. Pinatubo idején. Különösen az utóbbi évtizedekben a felsőlégköri folyamatok jobb megismerésével intenzív munka indult a vulkáni hatást felhasználó, globális hőmérsékletcsökkentést biztosító módszerek kidolgozására. A módszerek konkrét ismertetése előtt, nagyvonalakban, nem a tudományos munkákban található részletességgel összefoglaljuk, a vulkánokról és azok légköri hőmérsékleti hatásairól rendelkezésre álló fontosabb ismereteket.

A korai római kortól kezdve mintegy 300 nagy vulkán kitörési helyét biztonsággal rekonstruáltak, de egy-egy helyen vulkán csoportok is lehettek. Az elmúlt 1500 évre, a sztratoszféra kénterhelése alapján az egyes időpontokban nagyobb kitörésekre lehet következtetni (1. ábra) [1].

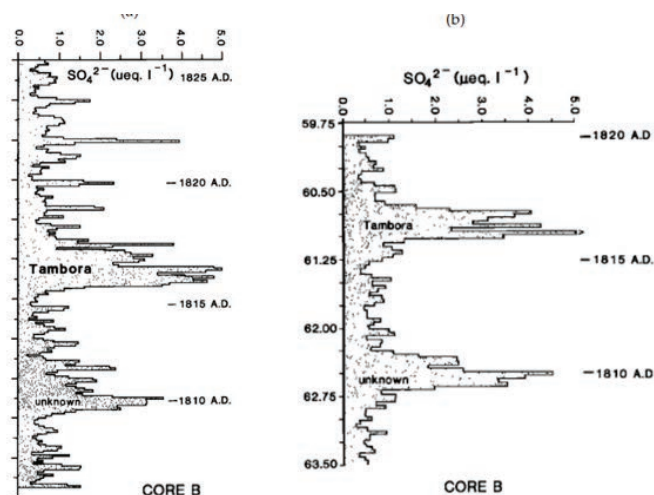


1. ábra. A sztratoszféra teljes (északi- és déli-félteke) vulkáni kénszulfát terhelése az elmúlt 1500 év során [1]

A vulkán kitörések erősségének és jellemzőinek megismeréséhez jelentős segítséget nyújtanak a jégfuratokat gyűjtő meteorológiai állomások. Példaként két meteorológiai állomás részletes jégfurat elemzés eredményei láthatók a 2. ábrán, amely elsősorban a Tambora kitörésének (1815) időszakára nyújt tájékoztatást.

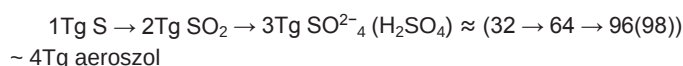
A Tambora előtt egy nagy egyenlítői kitörés látható 1809-ben, amely 25-30 Tg ként injektált a sztratoszférába, de nem azonosítható. Ez az ismeretlen kitörés megmagyarázná, miért volt a globális hőmérséklet a szokásosnál alacsonyabb már a Tambora kitörése előtt. A Tambora szulfát anomália az egyike az elmúlt 500 év két legnagyobb antarktisi jégfurat anomáliái közül [2].

A vulkánkitörések klimatikus hatásának elemzésével kapcsolatban Lamb munkássága úttörő volt [4]. A vulkánkitörésnél, a felszíni hőmérsékletre való hatás okozójaként a korábbi feltételezésektől eltérően a kilövellt hamu helyett, a kén-dioxid szerepére a mexikói El Chichon 1982-es kitörésekor figyeltek fel. A Pinatubo 1991-es kitörésekor már korszerű eszközökkel volt lehetséges a feltevések igazolása, azaz a kénsavas aeroszol felhő létezésének a kimutatása Harangi, 2013 [3].



2. ábra. Jégfuratokban mért szulfátkoncentráció: a) Siple állomás, Antarktis, (b) Közép-Grönland. Oldalszámok a minta dátuma. A mérési módszer oxigén izotóp. [2]

A sztratoszférában a kötődések a részecskék kialakulásához vezetnek:



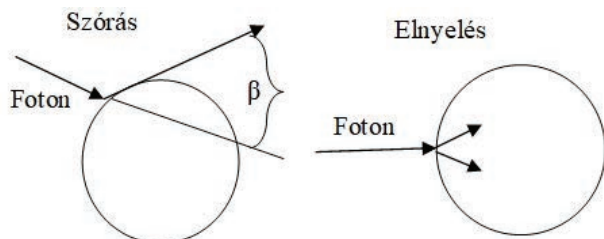
Az albedó növekedés nem valósul meg önmagukban a sztratoszférában lévő aeroszolok befecskendezésével, hanem általában kémiai prekursor (előanyag), például kén-dioxid (SO₂) befecskendezésével, amely fizikai és kémiai folyamatok során alakul át aeroszollá.

A sztratoszférikus szulfát aeroszolok – azaz a kén-dioxid, SO₂ a karbonil-szulfid COS és a kénsav H₂SO₄ – természetes eredetű és antropogén folyamatokon keresztül egyaránt kialakulhatnak. A folyamat során ezek a gázok oxigénatomokkal, számos kémiai reakció révén szulfát aeroszolat képeznek. A sztratoszférában talált kénsav legnagyobb részét SO₂ és a hidroxilgyökök OH reakciója képezi, amely az ott fellépő kémiai reakciók fő oxidálószer. Több sztratoszférikus aeroszol a troposzférában képződik, ahonnan eljutnak a sztratoszférába, elsősorban időjárási események vagy turbulencia révén. A természetes és antropogén SO₂ szállítása a troposzférából, a gáznemű prekursorok (természetes és antropogén) sztratoszférában történő oxidáció, és erős vulkánkitöréseknél közvetlen SO₂-injektálás útján történik. Az elsődleges mechanizmusnak tekintett elmélet szerint kénsavgőzből vízgőz jelenlétében a H₂SO₄-részecskék képződnek ez több, de kisebb részecskéket eredményez („nucleation”-nak nevezik). A koaguláció (coagulation) és a kondenzáció nagyobb részecskékhez vezet. Az SO₂-nek H₂SO₄-re oxidálódását lehetővé tevő lehetséges mechanizmusok hatékonyságát a sztratoszférikus kémiai és transzportfolyamatok határozzák meg. A részecskék koncentrációját és relatív mennyiségét fizikai, kémiai törvények és keveredési folyamatok határozzák meg, molekuláris és turbulens mozgásokkal. A vulkáni kitörésekor a felszínre kerülő gázok összetételét nehéz mérni. A legtöbb megfigyelés (a Pinatubo esetében) és a modellek összhangban vannak az SO₂ élettartamával, ami 30-35 nap-ra tehető. A kitörés előtti és utáni gázokat vizsgálva azonban megállapították, hogy a vízgőz mellett a leggyakrabban szén-dioxid, szén-monoxid, nitrogén, metán, ammónia, fluor, hidrogén, klór, kén-hidrogén, kén-dioxid és

fémkarbid-gőzök kerülnek a felszínre. A gázok hőmérséklete ritkán emelkedik 1000 °C fölé.

Aeroszolkok sugárzásra gyakorolt hatása

A részecskék egyrészt elnyelik (abszorpció), másrészt szórják a sugárzást (3. ábra). Az elnyelés és a szórás hatását együttesen sugárzás-gyengítésnek (extinkció) nevezzük.



3. ábra. A részecskére eső sugárzás sorsa

Ha adott aeroszol rétegen sugárzást bocsátunk át, akkor annak intenzitása (áramsűrűsége, dimenzió: Wm^{-2}) a megtett távolság (x) függvényében exponenciálisan csökken a jól ismert képlet szerint:

$$I = I_0 e^{-\sigma x}$$

Ahol I_0 és I az áramsűrűség az aeroszolba való belépéskor és az x út megtétele után, a σ a gyengítési együttható, amelynek dimenziója: m^{-1} .

A sugárzás szóródása a részecskék koncentrációjának és keresztmetszetüknek növekedésével növekszik. Gömb alakú részecskéket feltételezve:

$$\sigma_s = \sum 0,25 d^2 \pi K N_d$$

ahol a $\sum$ a számításához a különböző méretű részecskékre összegzésére utaló jel, a K az ún. gyengítési paraméter, amely, a részecskék méretén kívül, a sugárzás hullámhosszának és a részecskék törésmutatójának bonyolult függvénye.

A légköri aeroszol optikailag aktív tartományában (átmérő: 0,1 és 1,0 μm) a részecskék főleg ammónium-szulfátból és kénsavból állnak. Ezek a részecskék gyakorlatilag nem fényelnyelők, így a légkörben a szórásnak fontos szerepe van (3. ábra).

Csak szórás esetén, a sugárzási kényszer (Radiative Force) megváltozásának számítására (ΔE) a következő egyenletet használják:

$$\Delta E = -0,5 S (1-F) T^2 (1-A)^2 b a f B$$

ahol S a légkör külső határát érő napsugárzás áramsűrűsége (napállandó), F a felhőtakaró kiterjedése égbolt tizedekben, T az aeroszol réteget elérő sugárzási energia a légkör külső határára érkező érték hányadában, A a felszín albedója, b a visszaszórás viszonylagos mennyisége a az alacsony relatív nedvességű aeroszol tömeg szórási hatékonysága, f a nedvszívó részecskék növekedését kifejező tényező, B a függőleges légoszlopban lévő aeroszol részecskék tömege. A képlet csak felhőtlen légkör esetére alkalmazható és a bemenő adatok bizonytalansága miatt a végeredmény értéke is eléggé bizonytalan [5].

A légköri aeroszol részecskék, mint kondenzációs magok befolyásolják a felhők szerkezetét, így a felhők optikai paramétereit is.

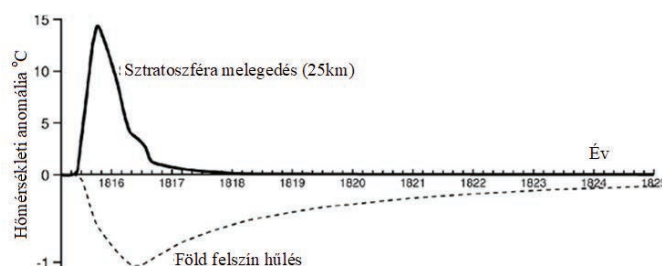
Az aeroszol képződéssel járó emberi tevékenység globálisan mintegy -1 Wm^{-2} hűlést hozott létre, ami első közelítésben mintegy $-0,3 \text{ °C}$ hőmérsékletváltozásnak felel meg. Sűrűn lakott iparosodott területeken azonban az emberi hatás ennek két-háromszorosa is lehet.

Globális hatás

Több tényezőtől függ az, hogy egy vulkánkitörés hatást gyakorol-e a globális éghajlatra vagy nem. Az egyenlítőhöz közeli vulkánkitörések tudják hatékonyan eljuttatni a kilövellt anyagot mindkét féltekére. Az indonéz Sumbawa szigeten 1815-ben a Tambora kitörése olyan erős globális lehűléshez vezetett, hogy 1816-ot a „nyár nélküli évnék” nevezték. A Tambora hatását nehéz különválasztani az arra az időre eső tengeri tevékenységektől. Egy La Niña volt 1815 és 1816 között, vagyis a tengerfelszín hőmérséklete a trópusi Atlanti-óceán és a Csendes-óceán keleti része alatt normális szint alatt volt, és 1816 végén El Niño elindult.

A klímára jelentősebb hatást kifejtő néhány nagyobb vulkán adatait érdemes összefoglalni az aeroszol injektálástól várható eredmények becsléséhez.

A Tambora kitörés, Indonézia, 1815-ben történt. A tényleges adatok alapján és modellvizsgálatokkal is megkísérelték rekonstruálni az akkori körülményeket. Vulkanikus felhőt vezettek be a modell sztratoszférába 20–25 km-re, és a globális átlagos aeroszol-optikai vastagságot 0,25-nek feltételezték. Az optikai tulajdonságokat meghatározó aeroszol optikai vastagság és aeroszol összetétel a modell légkörében változhatott a vulkáni felhő életciklusa alatt.



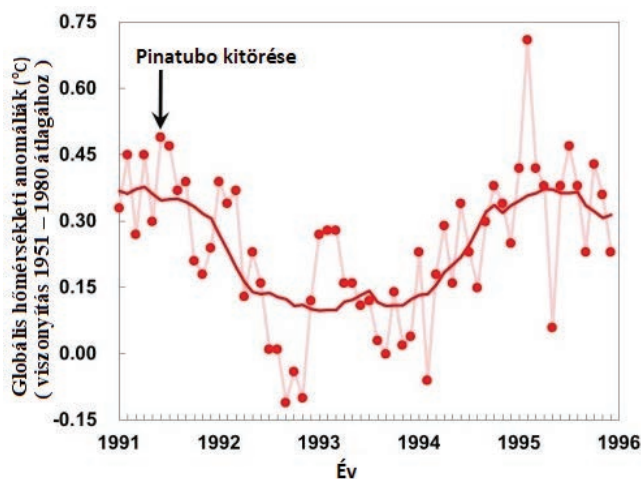
4. ábra. A Tambora kitörése után a globális sztratoszférikus és Föld felszíni hőmérsékletváltozás modellezett értékei, Vupputuri 1992 [6]

A vizsgálatokból látható, hogy a kitörés időpontjától (1815. április 7-12.) a globális átlagos felületi hőmérséklet folyamatosan csökken, és 1816 tavaszán elérte a maximális -1K -os értéket. Briffa et al. (1998) szerint a becsült átlagos északi félteke (szárazföldi és tengeri) felületi hőmérsékleti anomáliák az 1816, 1817 és 1818-as nyarakon $-0,51$, $-0,44$ és $-0,29\text{K}$ voltak. Az éghajlati feljegyzések egyeznek a Vupputuri által végzett klímamodellezés eredményeivel, amelyek becslése szerint is -1K volt a globális lehűlés maximuma 1816-ban (4. ábra). Ezzel ellentétben, a sztratoszférában, a számítások jelentős felmelegedést mutattak, és a kitörés időpontjától számított hat hónapon belül 25 km-nél 15 K -t ért el. A globális átlagos aeroszol-optikai vastagságot 0,25-nek feltételezték. A Tambora kitörése fontos hatást gyakorolt a stratoszférikus ózonra, és ezzel a felszíni UV-B sugárzásra. [7], [8].

Az indonéziai Krakatau 1883-as és a fülöp-szigeteki Pinatubo 1991-es kitörése is észrevehető lehűlést okozott, előbbi 2018 végén is újra működésbe lépett. A Pinatubo-kitörés 1991-ben becslések szerint az 1883-as Krakatau óta a legnagyobb kitörés volt. A kitörést követő egy hónapban körülbelül -3 W/m^2 sugárirányú RF

(Radiative Forcing) értéket okozott, majd az elkövetkező 2 évben csökkent (IPCC, 2007b, 2.18. ábra) közel nullára. A felszíni időbeni átlag hőmérséklet csökkenés $-0,3^{\circ}\text{C}$ volt.

A Fülöp-szigeteken 1991 júniusában a Pinatubo kitörése erőteljes éghajlati hatást gyakorolt. A kitörés után az első három hónapban enyhe globális felmelegedés volt tapasztalható az El Niño esemény egyidejű megjelenése miatt. Az El Niño Southern Oscillation hatásának elmúlása után az első évben mintegy $-1,0\text{ K}$ -os globális felületi hőmérséklet csökkenést figyeltek meg. Az anomália 16 hónap múlva kb. $-0,5\text{ K}$ -ra esett vissza, és az elkövetkező három évben visszaállt normális szintre. Az alsó sztratoszféra hőmérséklete a trópusokon azonban $1,5\text{ K}$ fölé emelkedett a kitörés után 3 hónappal a napsugárzás porfelhalmozódása következtében. Aztán a következő 18 hónap alatt a hőmérséklet visszaesett a normális szintre, amikor a por kihullott. Amikor a Pinatubo 1991. június 15-én kitört a Fülöp-szigeteken, becslések szerint 20 millió tonna kén-dioxid és hamu részecske 20 km-t meghaladó magasságra tört fel a légkörben.

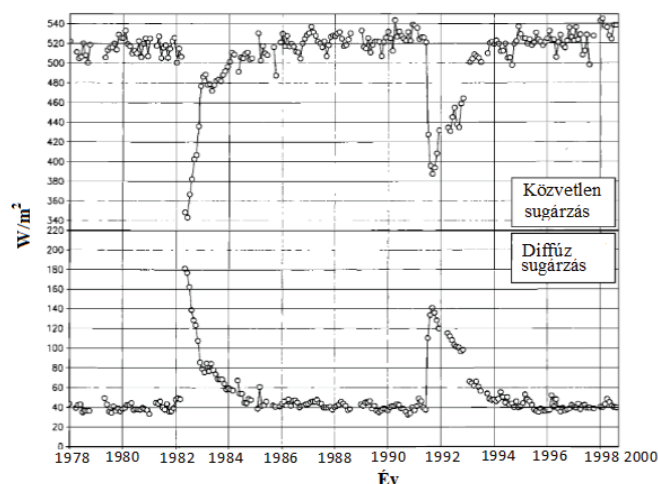


5. ábra. 1991 és 1996 közötti globális hőmérsékletváltozások, a Goddard Űrkutatási Intézet, NASA havi adatai alapján. A folyamatos vonal 13 hónapos simított átlagolással készült, Lee and Kok [9]

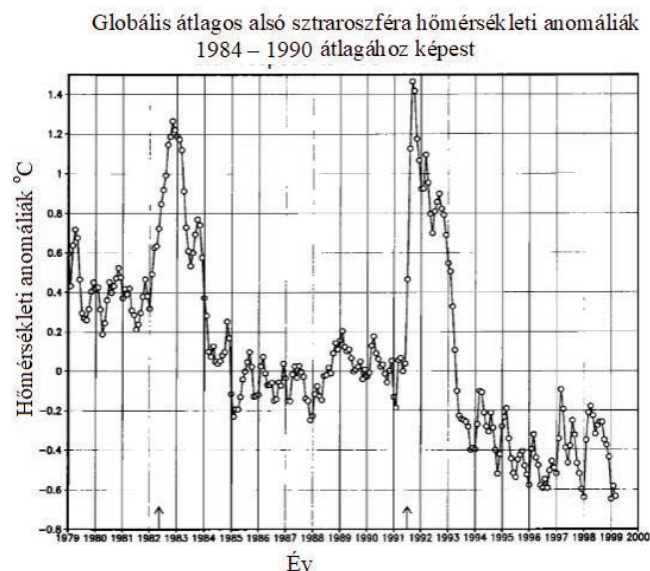
Robock és Mao kimutatták, hogy 2 évig az összes nagy vulkanikus kitörés után 1850 óta a felszín a globális átlagban $0,1-0,2\text{ K}$ -nel hűl le. Sajnos más nivós közleményekben, bár csak tizedes nagyságrendi különbséggel, de más adatok is találhatók [10].

1. táblázat. Az utóbbi 250 év legjelentősebb vulkánkitörései [11]

Vulkán	Kitörés éve	VEI	DVI/ $E_{\max}$
Grimsvothn, Izland	1783	4	2300
Tambora Indonézia	1815	7	3000
Cosiguina, Nikaragua	1835	5	4000
Askja Izland	1875	5	1000
Karakatu Indonézia	1883	6	1000
Okataina Új Zéland	1886	5	800
Santa Maria	1902	6	600
Ksudach Kamcsatka	1907	5	500
Novarupta Alaszka	1912	6	500
Agung Indonézia	1963	4	800
Mount St. Helens	1980	5	500
El Chichon Mexikó	1982	5	800
Mount Pinatubo Filippina	1991	6	1000



6. ábra. A Mauna Loa meteorológiai állomás közvetlen és diffúz szélessávú sugárzási mérései, követő pyrhométerrel és árnyékolt pyranométer lemezzel, tiszta égnél és 60° napzenitnél, ami relatív két légtömegnek felel meg. A közvetlen sugárzás csökkenése és a diffúz fokozódása az El Chichión 1982 és a Pinatubo 1991 kitörése után világosan látható [11].



7. ábra. A sztratoszféra havi globális hőmérséklet anomáliái mikrohullámú szatellit mérések alapján. A hőmérsékletértékek változását az 1984–1990 közötti vulkánmentes időszakhoz viszonyították. Nyilak jelzik 1982-ben az El Chichón és 1991-ben a Pinatubo kitörését [11]. Az abszcisszán az évszámok januárt jeleznek.

A Vulkánkitörési Index (Volcanic Eruption Index, VEI) a vulkánkitörések relatív mérőszáma. Christopher Newhall az Egyesült Államokban rendelkezésre álló geológiai mérések alapján és a Hawaii Egyetemen kutató Stephen Self 1982-ben alkották meg [12].

A skálán a történelem legnagyobb vulkánjai a 8-as érték közelében vannak. A 0 értékűek a nem túl veszélyes vulkánok, kevesebb, mint $10\,000\text{ m}^3$ kitöréssel, a 8 érték pedig olyan mega-kolosszális anyag-kitörést jelent, amelynél $1,0 \times 10^{12}\text{ m}^3$ juthat a szabadba, és a felhőoszlop magassága meghaladja a 20 km-t. A skála logaritmikus, egy intervallum növekedés a skálán tízszeres növekedést jelent, kivéve a VEI 0 – VEI 1 – VEI 2 szakaszban.

A vulkánkitörések légköri hatásainak leírására a VEI önmagában nem alkalmas. Ezt az Agung (1963) és El Chichón (1982) két

kitörés összevetésével mutatták be. A VEI osztályozásuk nagymértékben különbözik, a sztratoszférába feljutó SO_2 mennyiségek nagyjából hasonlóak, amit a két kitörés okozta optikai mélységek adatai alapján érzékeltettek.

A vulkánkitörések éghajlatra gyakorolt hatásának jellemzésére a Dust Veil Index (DVI) szolgál. A DVI a légkörbe szétosztott anyagok mennyiségének, és így a Föld felszínét elérő sugárzás értékének meghatározásához nyújt segítséget [13].

Geoengineering

A klímaváltozás elleni mozgalom erősödésével felerősödött az ún. éghajlati „geoengineering” tevékenység, amely a föld óceánjaiban, a légkörben és a talajokban beavatkozást tervez, átmeneti hatások elérésére. Fontosabb területei:

- Napsugárzás-hatás módosítás, Solar Radiation Management (SRM): A számos elképzelés közül csak a sztratoszférába permetezett szulfátos eljárással foglalkozunk. A napsugárzás-menedzselés olyan típusú éghajlat változtatási technikák közé tartoznak, amelyek a napsugárzás útját és irányát megváltoztatva csökkentik a felszíni globális felmelegedést. A javasolt módszerek közé tartozik a bolygó albedó növelése, például sztratoszferikus szulfát aeroszolkok alkalmazásával. A vulkánok kitörésekor a sztratoszférában keletkező aeroszolkok lényegében a Föld albedóját (fehérség, sugárzás visszaverődési mutató) módosítják. Ezt másolva, mesterségesen képzett aeroszolkokkal ugyanezt a hatást kívánják elérni.

Az albedó módosítására javasolt módszerek közül legrészletesebb elemzések a sztratoszferikus aeroszol injektálásra találhatók, amelynél a sztratoszférában lévő kis visszaverő részecskék (aeroszolkok) mennyiségét növelik. A sztratoszféra a légkörben a troposzférát követő felső réteg (kb. 18 km magasságban a trópusokon). Az aeroszol növekedését általában nem az aeroszolkok befecskendezésével, hanem kémiai prekursorok (pl. kén-dioxid, SO_2) bepermetezéssel valósítják meg, amelyek az ezt követő fizikai, kémiai folyamatokban aeroszolkokká alakulnak át.

Az iparosítás előtti CO_2 koncentráció megkétszerezésével a sugárzási kényszer (Radiative Force, RF) körülbelül 4 Wm^{-2} lesz. A Földre a napsugárzás 240 Wm^{-2} , így az abszorbeált sugárzás körülbelül 2%-a a légköri CO_2 -tartalom megduplázódása okozta sugarterhelés.

- Szén-dioxid eltávolítás, Carbon Dioxide Removal (CDR): A légköri szén-dioxidot kémiai, fizikai és biológiai módszerekkel csökkentik.
- Földi sugárzás módosítás, Earth Radiation Management (ERM): az éghajlatváltozás negatív hatásait ellensúlyozni lehet a hő űrbe való távozásának elősegítésével (például a cirrus felhők elvékonyításával).

A témában uralkodó zűrzavar érzékeltetésére bemutatjuk a különböző elképzelések bizonytalanságát, felületességét, realitását és a becsült óriási költség különbségeket. Azonos szerzőtől idézett tanulmányokban is gyakran más-más adatokat találunk. A tanulmányokra való hivatkozással ezt is érzékeltetjük. Sajnos még gyakran a szállítandó anyag meghatározása sem egyértelmű. Az adatok megalapozatlanságát mutatja, hogy igen nagy tartományban szóróznak, részletes elemzésükre már ki sem térünk.

Már jónéhány évtizede születnek a globális felmelegedés csökkentése érdekében éghajlatvédelmi javaslatok. A legelső között, 1974-ben az orosz szakértő Mikhail Budyko azt javasolta, hogy le

lehetne hűteni a bolygót úgy, hogy a sztratoszférában a kén égetnek, ami „homályt” okozhat [14].

Paul J. Crutzen holland meteorológus, Nobel-díjas, a légkörkutatók egyik úttörője, aki a légköri kémiai folyamatoknak a légkörre és a földi klímára gyakorolt hatásával is foglalkozott, kénvegyületeket juttatna a sztratoszférába.

Előzetes tájékoztatóként Crutzen a kénprogram éves költségét 50 milliárd (!) dollárra becsüli. Számítások szerint néhány száz repülőgéppel elvégezhető lenne a feladat. Káros mellékhatásként a savas esők erősödésével számoltak. Ha évente 10 millió tonnát (?) szórnanak szét repülőgépekről, akkor ez 1%-kal csökkentené a bejutó napsugárzást és képes lenne a széndioxid-kibocsátás megduplázódását is kompenzálni [15]. Az ötletet 1997-ben Teller Ede is felkarolta.

Különböző technikákat és anyagokat javasoltak aeroszol prekursor gázok (pl. H_2S és SO_2) szállítására. A sztratoszféra bejutásához szükséges magasság a tropopauza felett kell legyen, amely érték a pólusoknál 11 km-től az egyenlítőig 17-km-től, illetve 20 km fölé változik. A szállítási eszközöknél többek között szóba jönnek:

- Légi járművek esetleg módosítva, vagy erre tervezve az elégséges mennyiségű szükséges anyag szállítására.
- Tüzérségi lövedékek
- Magaslatti léggömbök, tartályok, ballonok felemelésére. A léggömböket csövek és tömlők felemelésére is használhatják, a léggömböket általában lehorgonyozzák.

Az előzetes tájékoztató adatok után kissé részletesebben foglalkozunk az irodalomban található közleményekben fellelhető költségekkel, bár a ma már nagyszámú megoldás rendszerezése, és megbízható költségek összegyűjtése lehetetlen. Ezért a témában előtérben lévő, színvonalas, aktív szerzők adatait ismertetjük. A kezdeményező Crutzen, Robock, Wagner stb. adatait foglaljuk össze.

Az antropogén aeroszol hatás közelítő átlagértéke $-1,4 \text{ Wm}^{-2}$. Crutzen szerint $1,9 \text{ Tg S}$ sztratoszferikus szulfát-terhelés lenne szükséges 1,3% optikai mélység eléréséhez. Ez folyamatos injektálással érhető el, és kb. $1-2 \text{ TgS}$ mennyiséget, évente 25–50 milliárd dollár költséggel lehetne a sztratoszférába juttatni. A sztratoszferikus tartózkodási idő 1-2 év lenne.

Robock számos tanulmányában a különböző módszerek alkalmazására a következő költségek találhatók:

Repülőgépek

A $0,1 \text{ MtS}$ évi felszállítására alkalmas technológiák közül legrészletesebben a repülőgépek használatát elemezték, de ennek ellenére az adatok megbízhatósága kétségeket von maga után. Első lépésben a kereskedelmi repülőgépeket vizsgálták, hogy a jelenlegi és a közeljövő technológiák milyen fejlesztésekkel és költségekkel használhatók. Közvetlenül elemezték a következő típusokat: Airbus, Boeing, Bombardier, Gulfstream, Lockheed Martin, Northrup Grumman; GE Motorok, Rolls Royce Motorok; Az Atlas Air, a Near Space Corporation, a Scaled Composites, az Űrhajó Társaság, a Virgin Orbit és a NASA gyártmányokat, az utóbbinál a nagy magasságú kutató repülőgép-flottájának tagjait. Egy szám szerű eredményt a KC-135 típusra mutatunk példaként.

Egy KC 135 ára 39,6 millió dollár (1998-as USD). A személyzeti, üzemanyag, karbantartás, módosítás és tartalék alkatrészek az E modellnél $4,6 \text{ mUSD/év}$, évi 300 repülési óra esetén. Napi három repülést tervezve 250 napra minden gépre 2 órás repülési időt véve figyelembe, ez évi 1500 órát jelent.

Ha 300 óra költsége 5 mUSD, akkor ennek ötszöröse, gépenként évente 25 mUSD. [16], [17], [18], [19].

A mesterséges szulfát aeroszol felhő előállítását szolgáló „elő-anyagok” (prekursorok), bejuttatása a sztratoszférába tehát különleges technikai megoldásokat igényelne. Korábban ezt egyszerűnek és olcsónak gondolták, de nem voltak részletes költségbecslések. Az elvégzett igen közelítőnek mondható újabb számos becslés, nagyon nagy szórással, de rámutatott, hogy évente 3-5 Tg SO_2 injektálása az alsó sarkvidéki vagy trópusi sztratoszférába óriási befektetést és üzemeltetési költséget jelent. Sajnos nem mindig világos, hogy mit választanak kiindulási anyagként, pedig az a aeroszol-képzés módszerét, és a költségeket is alapvetően befolyásolja. A szállítási költségek csökkentése érdekében elemezték, hogy a kén melyik formájában lehet nagyobb mennyiséget legolcsóbban felszállítani. Ha a H_2S gázt választanánk, amelynek egy mólnyi kénmennyiségre a molekulatömege 34 g, azaz közel fele az egy mólnyi kénmennyiséghez tartozó kén-dioxidnak, amelynek mólnyi tömege 64. A H_2S gyorsan SO_2 -re oxidálódik, majd konvertálódik H_2SO_4 -re. A folyamatnál veszélyes körülmények lehetnek, amelyekre figyelemmel kell lenni. A módszerek, a repülőgépes, a léggömbös, a tűzérési módszer, vagy a csak elképzelt és az űrhajós költségei is nagyon nagyok. A néhány helyről kiválasztott költségszámítással csak nagyságrendet akarunk érzékeltetni, de közel nem teljes az áttekintés. Például előre bocsátva Robock közleményében a 68 °N tropikus területen évi 3 Tg SO_2 injektálása 50 millió 1992-es dollár Tg-onként.

McClellan et al. (2012) megbecsülték a kén tartalom különböző szállítási mechanizmusának költségeit, de nem mélyedtek el a kívánt méreteloszlású aeroszolként előállításával. McClellan et al. optimalizált új légi járművet tervezett, amelyből kijuttatott alapanyag (például kén) in situ oxidálódik aeroszollá, ekkor a sztratoszférában (20-30 km) a költség 1 milliárdtól 3 milliárd dollár az MtS/év esetén, vagy vegyileg jobban előkészítve 5 Mt anyag feljuttatása kell azonos magasság tartományba, ekkor a költség 2 milliárd dollártól 8 milliárd dollár. A hibrid léghajók alkalmazásakor hasonlóak a becsült költségek, amelyek a felvonóerő nagyobb részét a felhajtóerőből nyerik, kisebb mértékben az aerodinamikai erőktől. A nagy felületük bonyolítja a nagy magasságú szélsőbességgű műveleteket, és a fejlesztési költségek bizonytalanabbak.

A végkövetkeztetés azonban az, hogy a meglévő kereskedelmi és katonai szállító repülőgépek még lényeges módosításokkal sem tudják elérni a kívánt magasságot. Tekintettel arra, hogy a meglévő technológiák alkalmatlanok módosításra is, egy új repülőgépet fejlesztést javasoltak, ahol a repülőgép és a motor fejlesztési költségei 2,1 és 5,6 milliárd dollár (2012) közötti tartományában vannak, McClellan et al 2012 [20].

A sztratoszférikus aeroszolnak a sztratoszférába való szállításához terveztek repülőgépet a TU Delft diákjai is. A kezdeti tőke költséget 93,9 milliárd amerikai dollárra, az évi üzemeltetés költségét 11 milliárd US dollárra becsülték, Stratospheric Aerosol Geoengineering Aircraft, vagy a SAGA, Design Synthesis Exercise2 2016 [21].

Az üvegházhatást okozó felmelegedés elleni küzdelemhez szükséges elegendő mennyiségű kén tartalom éves költsége a becslések szerint minimum 2-8 milliárd USD.

Az utóbbi időben megjelent közlemények közül meg kell említeni a Harvard Egyetem kutatóitól az Environmental Research Letters szaklapban megjelent, részletes adatokat tartalmazó tanulmányt. A földfelszíni globális felmelegedés csökkentését a kutatók

szerint sztratoszférikus aeroszol injekcióval (stratospheric aerosol injection, SAI) lehetne elérni. Gernot Wagner, a Harvard kutatója nem állítja, hogy ez lehet az egyetlen jó megoldás, csupán azt, hogy mérnöki szempontból elképzelhető egy ilyen program elindítása. Wagner szerint ha 15 év múlva beindulna egy ilyen program, ~ \$ 3.5 milliárd USD 2018-ban és éves szinten kb. 2-2,5 milliárd dollárba kerülne az első 15 évben. A program 0,2 Mt SO_2 -t helyez el évente. Szükség van egy új, nagy terhet, nagy magasságra szállítani képes eszköz (légi jármű) kifejlesztésére. Az alkalmazott anyagból évente 1500 tonna felszállításra lenne szükség. Ezt évente kb. 4000 járatral lehetne megoldani.

Ugyanebből az irodalomból vett példán bemutatva a szulfát érzékenységet a felső légköri szulfát aeroszol injektálással a következőkben bemutatott értékek érhetők el. Ha sugárzási kényszer (Radiative Force) 2030-ra 2,70 W m^{-2} -re emelkedik, és az évtizedes növekedés 0,5 W m^{-2} , (Moss et al. 2010, IPCC 2013), feltételezve, hogy a felső légköri szulfát érzékenység tíz évre (Top of Air, TOA) $-0,25 \text{ W m}^{-2}$ per Tg S yr^{-1} értékű, a növekedési ütem felére csökkentéséhez a SAI-nak a sugárzási kényszert $-0,25 \text{ W m}^{-2}$ -rel csökkentenie kell a telepítés első évtizede alatt. A globális átlaghőmérsékletek változása a SAI telepítésétől $-0,2 \text{ K}$ évtizedenként (a feltételezett hőmérséklet-érzékenység átlag $0,8 \text{ K/W m}^{-2}$). Stratospheric aerosol injection tactics and costs in the first 15 years of deployment Smith and Wagner [22].

A Bristol, Oxford és Cambridge egyetemek és a Rutherford-Appleton Laboratórium kutatói szerint megközelítőleg 2,5 Tg S yr^{-1} emisszió szükséges (ami körülbelül 10 Tg részecskéket képez). Módszerük szerint, az alsó sztratoszférában, 15 és 25 km között cirkáló speciális repülőgép fedélzetéről kén adalékkal, a sugárhajtómű kipufogóáramával bocsátanak ki az aeroszol finomszulfát részecskéket. Olyan repülőgépekre gondolnak, amelyek a 10 tonna finoman elosztott aeroszolt vagy egyenértékű prekursor tömeget szállítva 4 órás repülések során, 2500 km-es repülési úton egyenletesen osztanak szét. A teljes aeroszol tömeg biztosítása kb. 1 millió járatot igényelne, és több ezer repülőgépre lenne szükség.

Tűzérési lövedékek

A Committee on Science, Engineering, and Public Policy (COSEPUP); Panel on Policy Implications of Greenhouse Warming; National Academy of Sciences 1992-ben aluminium-oxid (Al_2O_3) pornak 41 cm-es haditengerészeti ágyúkkal a sztratoszférába való feljuttatásra számításokat közöltek. 4010 állomás, évi 250 napot működve, ágyúként 1500 lövést hajtana végre. Ezzel 5 Tg anyag jutna a sztratoszférába. Az éves költség, beleértve a löszert, az ágyú, az állomás és a személyzet költségeket, 100 milliárd USD (1992) lenne. Az aluminium-oxid költsége összesen 2,5 millió USD. A fegyvereket a tengerre, vagy kihalt területekre lehetne telepíteni, ahol a lövések zaja és a visszahulló lövedékek nem okoznak problémát. A megoldás kissé komolytalannak tűnik.

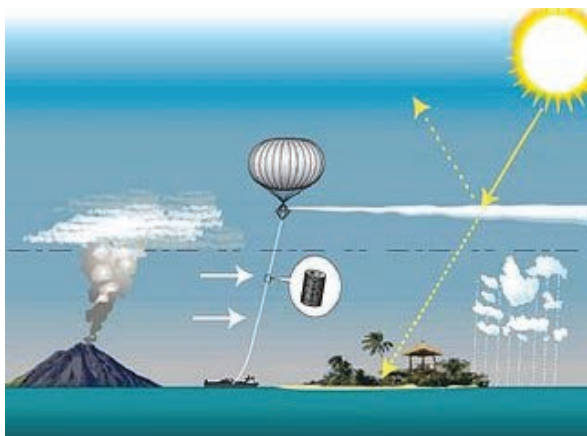
Sztratoszférikus ballonok

A ballonokhoz nincs szükség üzemanyagra, a meteorológiai lég-gömbök naponta emelkednek magas légköri rétegekbe. Leginkább héliummal töltik, de a hidrogén is lehetséges töltőanyag, ami lényegesen olcsóbb a héliumnál. A ballonokat számos formában alkalmazták. Használják hőlégballont is [23].

Balonnal 1 Tg H_2S -nek az injektálási költsége évi 20-30 mUSD (2007), ami tartalmazza a ballon, a por, a port diszpergáló berendezés, a hidrogén, az állomás, a személyzeti költségeket. A H_2S -t

a ballonban lehet elhelyezni. A ballon tömege 11,4 kg, a szállított gáztömeg 114,5 kg.

A lebegő platformokra felfüggesztett csövekkel a folyadék, vagy gáz 20 km-es magasságba történő feljuttatásának szállítási költsége alacsony, de ezeknek a rendszereknek a kutatási, fejlesztési, tesztelési és karbantartási költségei magasak és nagy bizonytalanságot hordoznak. A csőrendszer nagy üzemi nyomása és a szakítószilárdság követelményei [20] igen bizonytalanná teszik megvalósíthatóságukat,



8. ábra. Aeroszol képzés a sztratoszférában léggömb módszerrel [23]

A sztratoszférába 1 Tg gázmennyiség eljuttatásához évi 9 millió ballon kell, azaz 36 ezer db naponta (250 nap/év-vel számolva). Ez évente 21 milliárd USD-ba (2007) kerül.

McClellan et al. [20] a léggömböket nagyon kedvezőnek ítélte (becsült éves összköltség 4-10 milliárd dollár), de a technológia teljesen bizonyítatlan, teljesen új anyagokat követel meg.

Összegzés

Összefoglalva, a Föld felszín globális hőmérsékletének csökkentésére felmerült technikai megoldások közül, a kénalapú aeroszolnak a sztratoszférába való injektálása, széles körben felkeltette a tudományos világ fantáziáját. A befektetett munka eredményessége azonban kétséges, mert a technikai megvalósítás, a működtetés horribilis összegeket igényel, és a módszer igen jelentős veszélyeket rejt magában. Az új berendezés (repülőgép) kifejlesztése és gyártása is már kezdetben kb. 100milliárd USD tőkét igényel, majd a működtetés évi költségét is 3-5 milliárd dollárra becsülik. A számos veszély közül kiemelhetők pl. az agresszív kénvegyületeknek később a földfelületre és a vizekre gyakorolt káros hatása, az injektálás megszűnése után a légkör korábbi állapotának visszaállításával a természetet az erős hő-sokk súlyosan károsítja. A légköri áramlásokra való befolyással a klímára való hatás kiszámíthatatlan.

Irodalom

- [1] Gao, Chaochao, Robock, Alan and Ammann, Caspar: Volcanic forcing of climate over the past 1500 years: An improved ice-core-based index for climate models. *J. Geophys. Res.*, 113, 2008D23111, doi:10.1029/2008JD010239., Correction1 Correction2
- [2] Dai, J., Mosley-Thompson, E. and Thompson, L.G.: Ice core evidence for an explosive tropical volcanic eruption 6 years preceding Tambora. *Journal of Geophysical Research* 96, 17361–66.
- [3] Harangi Szabolcs: Egy vulkán, amely megrengette a világot - Magyar Tudomány www.matud.iif.hu/2015/07/18.htm MTA–ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport, ELTE Közettan-Geokémiai Tanszék
- [4] Lamb, Hubert et al: Volcanic Dust in the Atmosphere; With a Chronology and Assessment of Its Meteorological Significance. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, (1970), 266, 425-533. DOI: 10.1098/rsta.1970.0010
- [5] Gelencsér András, Molnár Ágnes, Imre Kornélia: Az éghajlatváltozás okai és következményei, mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/fff/02-eghajlat/Eghajlat.xhtml
- [6] Vupputuri, R.K.R.: The Tambora eruption in 1815 provides a test on possible global climatic and chemical perturbations in the past. *Natural Hazards* 1992, 5, 1–16.
- [7] Briffa, K. R., Jones P. D., Schweingruber F. H. and Osborn T. J.: "Influence of Volcanic Eruptions on Northern Hemisphere Summer Temperature over the Past 600 Years," *Nature*, Vol. 393, No. 6684, 1998, pp. 450-455. doi:10.1038/30943
- [8] Oppenheimer Clive: Climatic, environmental and human consequences of the largest known historic eruption: Tambora volcano (Indonesia) 1815, *Progress in Physical Geography* 27,2 (2003) pp. 230–259
- [9] Lee, T. C. and Kok, M. H.: Volcanoes, weather and climate - Hong Kong Observatory https://www.hko.gov.hk/m/article_e.htm?title=ele_00246
- [10] Robock, Alan and Mao, Jianping: The volcanic signal in surface temperature observations. *J. Climate*, 1995, 8, 1086-1103.
- [11] Robock Alan: VOLCANIC ERUPTIONS AND CLIMATE, Department of Environmental Sciences Rutgers University New Brunswick, New Jersey, 2000, <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/1998RG000054>
- [12] Newhall Chris and Self Stephen: The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism, https://www.researchgate.net/publication/215755320_The_Volcanic_Explosivity_Index
- [13] Lamb, H. H.: Volcanic Loading: The Dust Veil Index (1985) (NDP-013) DOI: 10.3334/CDIAC/atg.ndp013 <https://www.osti.gov/publications/1394444-volcanic-loading-dust-veil-index-nd>
- [14] Budyko, M. I.: The Earth's Climate: Past and Future ACADEMIC PRESS, 1982, New York London Paris San Diego San Francisco São Paulo Sydney Tokyo
- [15] Crutzen Paul J.: Albedo Enhancement by Stratospheric Sulfur Injections: A Contribution to Resolve a Policy Dilemma? Department of Atmospheric Chemistry Max-Planck-Institute, Climatic Change, First Online: 25 July 2006
- [16] Robock, Alan: The Many Problems with Geoengineering Using Stratospheric Aerosols, Presented at American Physical Society Meeting, May 2009, Denver, <https://www.aps.org/units/fps/2009/geoengineering-rob-ock09.PDF>
- [17] Robock, Alan: Environmental impacts of aerosol injection, including producing and delivering aerosols. Hostile Use of Environmental Modification Techniques. 18. Could be ...2008: 20 reasons why geoengineering may be a bad idea.
- [18] Robock, A.: Benefits, risks, and costs of stratospheric geoengineering - ... - 2009 <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL039209>
- [19] Robock Alan, Marquardt Allison, Kravitz Ben, and Stenchikov Georgiy: The practicality of geoengineering, Department of Environmental Sciences, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey(PDF) The practicality of geoengineering. Available from: Submitted for publication in *Geophysical Research Letters* January, 2009
- [20] McClellan, J., Keith, D. W., and Apt, J.: Cost analysis of stratospheric albedo modification delivery systems, *Environ. Res. Lett.*, 7, 034019, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034019>, 2012
- [21] TU Delft students design new aircraft for last resort option of ... <https://www.tudelft.nl/en/tu-delft-students-design-new-aircraft-for-last-resort-option-of-geo-engineering>
- [22] Smith Wake and Wagner Gernot: Stratospheric aerosol injection tactics and costs in the first 15 years of deployment, *Environmental Research Letters*, Volume 13, Number 12Published 23 November 2018 • © 2018 The Author(s). Published by IOP Publishing Ltd
- [23] Kaufman Rachel: Could Pumping Aerosols into the Atmosphere Stop Global Warming? (A British climate-cooling balloon experiment) *InnovationNewsDaily Contributor* August 16, 2012 09:27am ET <https://www.livescience.com/planet-earth>

A földgáz ereje

Szilágyi Zsombor

mérnök; drszilagyizsombor@freemail.hu

A földgáz az ország legfontosabb energiahordozója, és több iparág alapanyaga is. Ugyanakkor fosszilis energiahordozó, részben felelős a légkör széndioxid tartalma növekedéséért. Magyarország földrajzi elhelyezkedése miatt jelentős szerepet tölt be a szomszédos országok földgáz ellátásában is. Cikkünkben a magyar földgáz piac változásait mutatjuk be, az elmúlt néhány évben.

Az ENSZ szorgalmazására a világ 190 országában elhatározták, hogy a légkör védelme érdekében csökkentik a fosszilis energiahordozó használatát. Ez a program hosszú távú, eredményeit hat-nyolc év múlva tudjuk majd mérni a légkörben. Addig viszont a fosszilis energiahordozók uralják a világ energia felhasználását.

A világ és Magyarország primerenergia felhasználásának megoszlása energiahordozónként 2017-ben (%) [1], [2]:

Energiahordozó	Világ – részesedés (%)	Magyarország – részesedés (%)
Kőolaj	34,3	27,7
Földgáz	23,2	32,0
Szén	27,7	8,4
Nukleáris	4,4	15,8
Vízenergia	6,8	0,7
Egyéb megújulók	3,6	11,9

Az előrejelzések szerint legalább 2040-ig a világban nem csökken a földgáz felhasználás. Köszönhető ez a prognózis annak, hogy:

- a világ nem hagyományos földgáz készletei hatalmasak, pontosan még becsülni sem lehet,
- az USA földgázból önellátó lett, a földgáz felesleg a világon ezzel megnőtt,
- Oroszország mondhatni minden áron több, és több földgázt akar exportálni,
- a világon az LNG szinte bárhol elérhető, és azok az országok tudnak előre törni az LNG piacán, amelyek a földgáz feleslegüket eddig más szállítási móddal nem tudták piacra vinni,
- a földgáz piac újdonsága a metánhidrát, amit a tengerparti sávokban és a fagyott tundra talajában találtak, könnyen kitermelhető mélységben. A várhatóan hatalmas készletekről még becslések sincsenek.

Magyarország földgáz készlete 2009-ben még 3356 millió tonna volt, 2016. végére 1646,3 millió tonnára csökkent [3]. A készletek jelentős részének magas a széndioxid tartalma, a gáz tisztítása ma még nem gazdaságos. Folytak kutatások a makói medencében a nem hagyományos földgáz készletek megtalálására. A kutatás eredményes volt, jelentős gázkészletek vannak nagy mélységben és nehéz kitermelési viszonyok között. Ezek a készletek a kitermelés költségei miatt ma még nem bányászhatók.

Ma már bizonyítottan látjuk, hogy a földgáz szállítózeti kapcsolata a szomszédos országokkal alapvetően országunk érdekeit is szolgálják. Erősödik az ország szerepe a földgáz külkereskedelemben, nő a földgáz export a környező országokba, ezzel együtt nő az import is (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Import	311 343	237 669	302 508	467 390
Export	25 860	19 184	37 380	123 173

A földgáz primer belföldi fogyasztása, és a főbb felhasználási szektorok fogyasztása (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Primer felhasználás	292 306	313 584	336 104	357 629
Lakosság	97 162	109 939	117 793	124 420
Átalakítási szektor*	68 117	76 017	82 924	92 019
Kereskedelem és szolgáltatások	52 050	52 799	51 318	49 000
Élelmiszeripar	11 798	12 172	11 526	12 317
Vegyipar	9 594	9 792	10 308	10 879

*alapvetően villamos áram termelés

2017-ben az ország földgáz felhasználásának 42,8%-át tette ki az egyetemes szolgáltatásban részesülők fogyasztása.

2017-ben a földgáz szállító és az elosztók saját felhasználása és hálózati vesztesége 13,6 PJ volt.

A földgáz ára

A földgáz fogyasztói árát az egyetemes szolgáltatásban részesülők (első sorban a lakosság) részére a kormány határozza meg. Ez az ár független a földgáz import ártól. A szabadpiaci földgáz felhasználók az árról szabadon állapodhatnak meg a földgáz kereskedővel. A szabadpiacon vannak felhasználók, melyek egy gázévre állandó árban állapodnak meg, de a legtöbb felhasználó képletes áron vásárol. A képlet általában valamelyik földgáz tőzsde gyakran változó árát követi. Több magyar földgáz kereskedő a bécsi CEGH földgáz tőzsdén szerzi be a fogyasztói részére a földgázt.

Áram és földgáz tőzsde működik Budapesten is, a HUDEX. A magyar tőzsdei árak is elég szorosan követik a kőolaj tőzsdei árát, és a nagy európai földgáz tőzsdék árát.

A lakosság földgáz felhasználása

2017-ben 2899 településen volt vezetékes gázszolgáltatás, az összes település 91,7%-n. Az év végén a vezetékes gázt fogyasztó háztartások száma 3236 ezer volt, az összes háztartás 72,9%-a [3].

A lakosság földgáz igénye folyamatosan nő (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Földgáz igény	97 162	109 939	117 793	124 420

A lakossági földgáz igény a legfontosabb tétel az országos földgáz mérlegben, 2017-ben a primer belföldi földgáz felhasználás 34,7%-a volt. Nő az egy háztartásra jutó gáz felhasználás is (m³/év) [3]:

	2014	2015	2016	2017
Háztartási igény	834,1	950,0	952,3	1 129,8

A lakosság földgáz igényének erősödését a következő tényezők okozzák:

- nő a lakosság életszínvonala,
- csökken a nem fizetés és a szabálytalan vételezés miatt kikapcsolt háztartások száma,
- az új építésű lakások nagyobb alapterületűek,
- a külföldre költözött lakosok helyére új gázfogyasztók költöznek, vagy iroda, vállalkozás indul,
- a tűzifa ára rohamosan emelkedik, sokan visszatérnek a gázfűtéshez.

Évről évre nő az éves átlag hőmérséklet, de ennek hatása még nem jelentkezik a gázfogyasztásban. Nem látszik a háztartási gázfogyasztáson a lakások hőszigetelésének, vagy a korszerűbb gázkészülékre cserélés állami támogatásának hatása.

Áramtermelés földgázból

Az áramtermelés teljes energiahordozó igényét és a földgáz felhasználását mutatja be a következő táblázat (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Összes energiahordozó	203 779	210 033	208 160	213 393
Földgáz	68 114	76 017	82 924	92 019

A hazai áramtermelés alapvető bázisa a paksi atomerőmű és a Mátrai Erőmű, ezek az erőművek egész évben teljes kapacitással termelnek, kivéve a meghibásodást és a tervezett karbantartás miatti leállást. Az alap erőművek kiesése esetén azonnal földgáz tüzelésű tartalék kapacitásokat kell indítani. Ugyancsak a földgáz tüzelésű erőművek indulnak, ha a nap- és szélenergiával termelő áramtermelők a természetes körülmények miatt csökkentik a termelést, vagy leállnak. A táblázatban az összes energiahordozó számok tartalmazzák fa-, mezőgazdasági – és kommunális hulladékot is, de a szél- és a naperőművek energia felvételét is.

A villamosenergia-külkereskedelem is erősödik, de nettó importőrök vagyunk (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Import	68 697	71 779	64 635	71 304
Export	20 484	22 500	18 867	24 934

A villamosenergia-külkereskedelem leglényegesebb tényezői:

- a hazai villamos energia igény és a rendelkezésre álló hazai termelő kapacitás,
- a határ keresztező villamos hálózatok kapacitása,

- a szomszédos országok pillanatnyi villamos mérlege,
- a villamos energia ára.

A fentiek miatt a villamos energia termeléshez szükséges földgáz mennyiséget nehéz tervezni, a földgáz ellátó rendszernek mindig készen kell állni a hazai földgáz üzemű áramtermelők kiszolgálására.

Kereskedelem és szolgáltatások

A kereskedelem és a szolgáltatások földgáz igénye lényeges tétel a földgáz mérlegben. Lassan csökkenő tendenciát mutat (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Földgáz igény	52 050	52 799	51 318	49 000

Élelmiszeripar

A magyar gazdaság jelentős iparága az élelmiszeripar. Külkereskedelmünknek is fontos hányadát adja az élelmiszeripar. Az élelmiszeripar földgáz igénye alig változik (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Földgáz igény	11 798	12 172	11 526	12 317

Vegyipar és gyógyszergyártás

Jelentős földgáz felhasználó gazdasági ágazat. A földgáz igény alakulása (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Földgáz igény	9 594	9 792	10 308	10 879

Közúti közlekedés

A légkörbe kerülő szilárd szennyezés és a légkör metán tartalmának csökkentését jól szolgálják a földgáz hajtású közúti járművek. A benzin és a gázolaj kiváltása az EU által erősen támogatott program, nálunk még nem látszanak látványos eredmények. A közúti közlekedésben a földgáz felhasználás lassan nő (TJ) [2]:

	2014	2015	2016	2017
Földgáz igény	60	177	338	366

Az ország földgáz felhasználása a jövőben nőni fog, a légkör védelmi törekvések ellenére is. Lényeges változásokat hozhat, ha az EU sürgétésének megfelelően a földgáz fogyasztói ára minden felhasználónál piaci ár lesz, beleértve a háztartásokat is.

[1] BP Statistical Review of World Energy June 2018

[2] MEKH adatok

[3] A magyar földgázrendszer 2017. évi adatai. FGSZ és MEKH

Köszönjük, hogy gondol ránk!

1%

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület adószáma:

19815637-2-43

Távhőrendszeri keringtető szivattyú csere¹

Szalai Szabolcs

okl. gépészmérnök, szszalai@fotav.hu

A FŐTÁV Zrt. (FŐTÁV) fő tevékenysége a főváros 17 kerületére kiterjedő távhőszolgáltatás, amely tulajdonképpen a felhasználók fűtési és használati melegvíz célú hőigényének kielégítéséhez szükséges hőszolgáltatást jelenti a kiépített távhőrendszereken keresztül. Távhőrendszereinkben a saját fűtőműveinkben előállított, valamint a kis- és nagyerőművektől vásárolt hőenergiát mintegy 550 km nyomvonal-hosszúságú, nagyrészt földbe fektetett távhővezeték hálózaton keresztül juttatjuk el több, mint 243 000 lakossági és csaknem 2000 nem lakossági felhasználóhoz. A fűtőművekből és az erőművekből a hő a távhővezetékben keringtetett forróvíz útján jut el a hőközpontokig. A saját tulajdonban levő hőközpontokban a hőt átalakítjuk a fűtési és használati melegvíz célú felhasználásra alkalmas formába, amelyhez az épületben levő hőleadók, radiátorok fűtési vizének keringtetése is hozzá tartozik.

A Társaság 2018. évi teljes villamosenergia-felhasználása 27.497 MWh volt, amelyből a mintegy 3500 db saját tulajdonú hőközpont felhasználása 18.373 MWh-t, a fűtőművek és szivattyúállomások felhasználása pedig 7.730 MWh-t tett ki. Az előzőek értelmében a hőközponti felhasználás aránya 67%, a fűtőművi felhasználás aránya pedig 28%. Ezen adatok alapján fontos, hogy ezt a számottevő energiamennyiséget milyen energetikai hatékonysággal használjuk fel.

Itt jegyezzük meg, hogy a hőközpontok 2018. évi villamosenergia-felhasználása a 2014. évi értékhez képest kb. 3.460 MWh-val (több mint 15%-kal) csökkent, ami meghaladja a hőközponti szivattyú rekonstrukciós program elején, elérendő célként meghatározott értéket.

A hőközpontok villamosenergia-felhasználása lényegében a fűtési és a használati melegvíz keringtető szivattyúk működtetéséből ered. A fent említett, mintegy 18.4 GWh éves hőközponti villamosenergia-felhasználásnak kb. 40%-át a használati melegvíz termelésben, 60%-át pedig a fűtőszolgáltatásban használjuk fel.

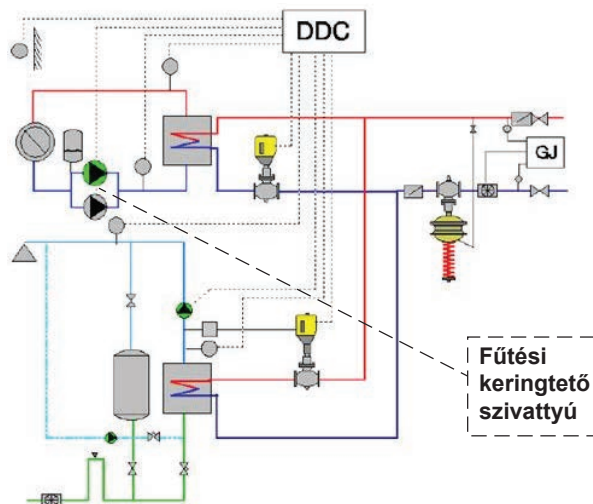
Napjainkra a fűtési rendszerek korszerűsítések eredményeként a szükséges fűtési melegvíz térfogatáram számottevően csökkent. A megváltozott keringtetési igény kiszolgálására alkalmatlan, nem fordulatszám-szabályozású szivattyúk üzeme miatt a hőközpontokban a megmért villamosenergia-felhasználás jelentősen meghaladja a szükséges villamos energia mennyiségét. Egy hőközpont jellemző kapcsolási rajzát mutatja az 1. ábra.

A hőközponti szivattyúrekonstrukciós program előkészítésének részeként FŐTÁV üzemviteli méréseket végzett jellemző gépek üzemével kapcsolatban. A mérések eredménye megmutatta, hogy a hőközpontok villamosenergia-felhasználása korszerű szivattyúk és változó fordulatszámú hajtás alkalmazásával mintegy 35%-kal lenne csökkenthető. Ez egyrészt az idősebb szivattyúk hatásfoká-

nak korszerű társaiktól való jelentős elmaradásának, másrészt a változó tömegáramú szabályozás kisebb munkapontjának köszönhető. Az idős szivattyútípusok cseréje tehát energetikailag és a szolgáltatás biztonsága érdekében is indokolt. A FŐTÁV tulajdonában lévő hőközpontok többsége az 1995-2010. közötti időszakban került felújításra, így a felújítások kezdetén beépített szivattyúk ma már szintén nem nevezhetők korszerűnek. E gépek hatásfoka ugyan még elfogadható, azonban cseréjük változó térfogatáramú rendszerek esetén energetikailag indokolt.

A szivattyú rekonstrukciós program első üteme alapján aktualizált elméleti összes hőközponti szintű megtakarítási potenciál mintegy 3,37 millió kWh évente, amely egyben a jelenlegi árakon évi 143 millió Ft költségmegtakarítási potenciált is jelent.

Az eredmények alapján a FŐTÁV 5 évre tervezett szivattyúrekonstrukciós programba kezdett 2012-ben, és négy sikeres év után 2017-ben az 5. ütemét hajtotta végre.



1. ábra. Hőközpont egyszerűsített kapcsolási vázlata

A fűtőművi villamosenergia-felhasználás jelentős részben a távhőrendszerek keringtető szivattyúinak működtetéséből ered, de nem elhanyagolható a hőtermelő berendezések üzemszerű működéséhez szükséges visszakeverő szivattyúk villamosenergia-felhasználása sem.

A FŐTÁV – közszolgáltatói feladatából adódó – gondos karbantartásának köszönhetően alapvetően valamennyi szivattyú a fűtőművek építése óta, mintegy 30-40 éve volt üzemben és hasonló karbantartás mellett még hosszú évekig üzemben tartható maradhatott volna. Azonban a beépítés óta eltelt időszakban jelentősen megváltoztak az üzemi viszonyok. A kezdeti felhasználószám növekedés után az 1990-es években sokáig stagnáló hőigények a

¹ A cikk a Virtuális Erőmű Program megbízásából készült.

távhő átalánydíj megszűnésével és az energia drágulásával lecsökkentek, majd a Panel Program támogatásával elvégzett utólagos hővédelem javítások, nyílászáró cserék és/vagy épület hőszigetelések következményeként, valamint az ÖKO Plusz program fűtőkorszerűsítéseiből és az energiatakarékosságot előtérbe helyező fogyasztói szokásokból eredően a meglévő fogyasztói körben folyamatosan továbbcsökken.

A megváltozott hőigényekkel együtt a keringtetett térfogatáram is jelentősen lecsökkent, emiatt a régi szivattyúk a saját optimális munkapontjuktól jelentősen eltérő körülmények között lényegesen rosszabb hatásfokkal üzemeltek, néhány esetben pedig még a fordulatszám szabályozás sem volt megoldott. A szivattyúk mellett a hatékony üzemeltetést és energiafelhasználást tovább rontotta a villamos motorok túlméretezése, és a villamos motorok esetében a korszerűtlenségből adódó rossz hatásfokuk is.

Mindezek miatt egyre inkább egyértelművé vált a FŐTÁV számára, hogy a régi szivattyúk növekvő karbantartási költsége mellett a szivattyúk jelentős villamosenergia-felhasználása hosszú távon sem az üzemeltetési költségek, sem az energiahatékonyság, sem pedig a környezeti hatások szempontjából nem kifizetődő. Ezért megvizsgálta a tényleges és jövőben várható keringtetési igényeket és a meglévő szivattyúk új szivattyúkkal történő cseréjéből eredő előnyöket. A vizsgálat során megállapítást nyert, hogy a keringtető szivattyúk távhőrendszerekhez történő jobb illesztésével és azzal együtt cseréjükkel a költségmegtakarítás mellett számottevő villamosenergia-megtakarítás érhető el. Ezért a keringtető szivattyúk fokozatos korszerűsítését és az azzal együtt járó cseréket a 2010-es évek eleje óta végzi Társaságunk.

A fűtőművi szivattyú korszerűsítés ismertetése

Az Észak-budai Fűtőmű visszakeverő szivattyúinak cseréje

A fűtőműben a keringtető szivattyúk már korábban elvégzett cseréjét követően a forróvízkazánok visszakeverő szivattyúinak cseréire 2018-ban került sor, amelynek elsődleges oka a megnövekedett karbantartási költség csökkentése volt. Az új beruházással a szivattyúkkal együtt frekvenciaváltós fordulatszám szabályozás került kiépítésre.



1. kép. FŐTÁV Észak-budai Fűtőmű



2. kép. Észak-budai Fűtőmű új visszakeverő szivattyú

Az Észak-budai Fűtőmű szivattyúcseréivel elért eredmények ismertetése

A visszakeverő szivattyúk villamosenergia-felhasználása a fűtőműi felhasználásnak (2018-ban 2.352 MWh) nagyjából 5%-át teszi ki. A visszakeverő szivattyúk és a kiszolgált kazánok éves üzemideje közelítőleg megegyezik. A visszakeverő szivattyúk villamos felhasználása külön elektromos mérővel nincs mérve, ezért a szivattyúcserékkel elért megtakarítást számítással határoztuk meg.

A szivattyúk éves üzemi tartamdiagramja alapján a régi és az új szivattyúk jelleggörbéjének jellemző munkapontjaira meghatározásra került a villamosenergia-felhasználás. A visszakeverő szivattyúk jellemző üzemállapotait, valamint a régi és az új szivattyúk számított villamosenergia-felhasználását az 1. táblázat, a szivattyúk műszaki jellemzőit a 2. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Észak-budai Fűtőmű visszakeverő szivattyúinak villamosenergia-felhasználása

Visszakeringtető szivattyúk jellemző üzemállapotai				
Térfogatáram (m³/h)	250	550	850	1 100
Emelőmagasság (v.o.m)	12,3	13,4	15,6	18,8
1. szivattyú üzemidő (h)	108	612	584	287
2. szivattyú üzemidő (h)	77	437	417	205
Régi szivattyúk villamosenergia-felhasználása				
Szivattyú hatásfok	35,0%	65,0%	72,0%	75,0%
Villanymotor	75,0%	85,0%	88,0%	90,0%
1. szivattyú villamosenergia-felhasználás (MWh)	3,38	21,82	32,64	23,52
2. szivattyú villamosenergia-felhasználás (MWh)	2,41	15,57	23,29	16,78
Számított éves felhasználás	139,42			
Új szivattyúk villamosenergia-felhasználása				
Szivattyú hatásfok	54,5%	79,4%	83,3%	81,9%
Villanymotor	85,0%	92,0%	94,0%	94,5%
1. szivattyú villamosenergia-felhasználás (MWh)	1,91	16,50	26,41	20,51
2. szivattyú villamosenergia-felhasználás (MWh)	1,37	11,78	18,85	14,64
Számított éves felhasználás	111,97			

2. táblázat. Észak-budai Fűtőmű visszakeverő szivattyúinak paraméterei

Funkció →		Visszakeverő szivattyú 1	Visszakeverő szivattyú 2
Üzemidő [h]		1 592	1 136
Régi szivattyú	Típus	Ganz BFS 300/350	Ganz BFS 300/350
	Q (m³/h)	900	900
	H (m)	15	15
	P (kW)	75	75
	Átl. telj. (kW)	51,1	51,1
	átl. η (%)	60,8%	60,8%
	Számított villamos fogy. [kWh]	81 360	58 060
Új szivattyú	Típus	Grundfos TP 350-320/4	Grundfos TP 350-320/4
	Q (m³/h)	1 200	1 200
	H (m)	20	20
	P (kW)	90	90
	Átl. telj. (kW)	41,1	41,1
	átl. η (%)	75,8%	75,8%
	Számított villamos fogy. [kWh]	65 340	46 630

Az éves üzemidőre vetítve a visszakeverő szivattyúk átlagos villamos teljesítménye 10-10 kW-tal mérséklődött.

A projekt hozzájárulása a Virtuális Erőmű Programhoz

A fejlesztés eredményeként a **20,0 kW** mértékű átlagos villamos teljesítménycsökkenés mellett **28,2 MWh** villamosenergia-megtakarítást is sikerült elérni.

A VEP szempontjából elfogadható villamos teljesítménycsökkenés:

$$P_{VEP} = P_{bázis} - P_{fejlesztés} = 51,1 + 51,1 \text{ kW} - 41,1 - 41,1 \text{ kW} = 20,0 \text{ kW}$$

ahol:

P_{VEP} – a VEP szempontjából értékelt villamos teljesítmény csökkenés,

P_{bázis} – a fejlesztés előtti átlagos teljesítmény,

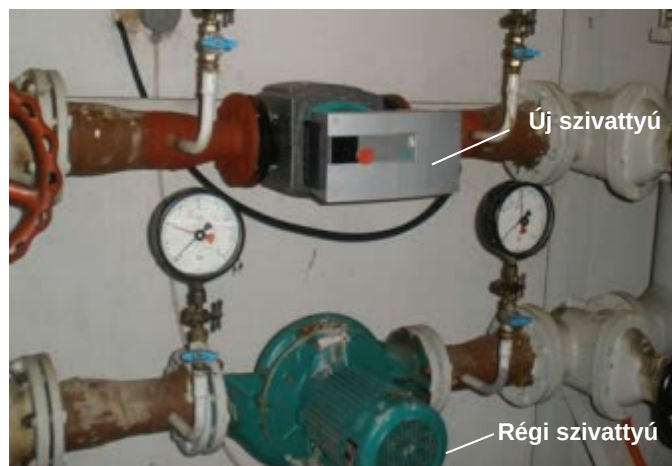
P_{fejlesztés} – a fejlesztés utáni átlagos teljesítmény.

Összegezve az Észak-budai Fűtőmű visszakeverő szivattyúinak cseréje **20,0 kW** értékkel járult hozzá a virtuális erőmű építéséhez.

A hőközponti szivattyú korszerűsítés ismertetése

A 2012-2016. években végrehajtott szivattyúcserék a korábbi vizsgálatok eredményét megerősítették. Az 1-4. ütemben beépített szivattyúk eredményeképp a fűtési szivattyúk villamosenergia-felhasználása több mint 50%-kal, a hőközpontok éves felhasználása pedig átlagosan 36%-kal csökkent.

A szivattyúcsere program 5. ütemébe sorolt hőközponti szivattyúk az üzemviteli és működési paraméterek alapján kerültek kiválasztásra. A beruházási program 5. üteme keretében 2017-ben összesen 230 db szivattyú cseréjét hajtottuk végre. A programban végzett cserék mellett a meghibásodott, illetve az átépítés miatt le-szerelendő szivattyúkat is már korszerű berendezésekre cseréltük. A lecserélt szivattyúk helyére Wilo Stratos típusú szivattyúk kerültek. Azokban a hőközpontokban, ahol voltak tartalék szivattyúk, ott azok megmaradtak, amint az a 3. képen is látható.



3. kép. Régi és új típusú szivattyú

Az 1-4. ütemek tapasztalatai és a villamos energia egységárak alapján becsült kalkuláció szerint az 5. ütemben beépített szivattyúkkal évi 394 MWh villamosenergia-, illetve 14 millió forint költségmegtakarítás érhető el, amivel az egyszerű megtérülési idő 5-6 év közöttire adódott. A rekonstrukciós program keretében lecserélt szivattyúk típusát és összes villamos teljesítményét az 3. táblázat mutatja.

3. táblázat. Szivattyúrekonstrukció 5. ütemében cserélt szivattyúinak átlagos teljesítménye

2017. évben beépített szivattyúk				
Wilo Stratos 30/1-12	31	Mennyiség (db)	Összes villamos teljesítmény (kW)	Korábbi összes villamos teljesítmény (kW)
Wilo Stratos 40/1-12	50			
Wilo Stratos 50/1-12	76			
Wilo Stratos 65/1-12	55			
Wilo Stratos 80/1-12	18			
Összesen	230		148,7	249,2
				100,5

A fejlesztéssel elért eredmények ismertetése

A szivattyúcserével elért megtakarítást a beépítés előtti 3 év (2014-2016) hőközponti éves villamosenergia fogyasztások átlagához, mint bázishoz viszonyítottuk. A szivattyúcserék utáni 2018. évi fogyasztások bázishoz képesti csökkenése adja a megtakarítást. A hőközpontokban a szivattyúcserén kívül, a szükséges karbantartáson túl más fejlesztések nem voltak, így a számítható villamosenergia-megtakarítások a szivattyúrekonstrukciós cseréknek köszönhetőek. A megtakarításokat a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat. Hőközponti fűtési szivattyúcsere program 5. ütemének megtakarítása

Hőközponti szivattyúcsere program	Me.	Csere előtti bázis időszak	Csere utáni időszak	Fejlesztésből származó megtakarítás
5. ütem összesen	MWh/év	1094,7	653,2	441,4

A szivattyúrekonstrukció program 5. ütemében részt vevő hőközpontokban az összegezett átlagos szivattyú teljesítmény a fejlesztés előtt 249,2 kW-ot, a fejlesztés után pedig 148,7 kW-ot tett ki, amely 100,5 kW villamos teljesítménycsökkenést jelent.

A projekt hozzájárulása a Virtuális Erőmű Programhoz

Fentiek alapján a fejlesztés eredményeként **100,5 kW** mértékű beépített villamos teljesítménycsökkenés mellett **441,4 MWh** fűtési keringtetésben jelentkező villamosenergia-megtakarítást sikerült elérni.

A VEP szempontjából elfogadható villamos teljesítménycsökkenés (2017. évi fejlesztések összesen):

$$P_{VEP} = \sum P_{bázis} - \sum P_{fejlesztés} = 249,2 \text{ kW} - 148,7 \text{ kW} = 100,5 \text{ kW}$$

ahol:

PVEP – a VEP szempontjából értékelt villamos teljesítmény csökkenés, $\sum P_{bázis}$ – a fejlesztés előtti villamos teljesítmény hőközpontokra összesen,

$\sum P_{fejlesztés}$ – a fejlesztés utáni villamos teljesítmény hőközpontokra összesen,

a villamos teljesítmények a hőközpontok éves villamosenergia-felhasználásából a fűtési keringtető szivattyúkra eső mennyiségnek a felhasználási profilnak megfelelően számított értékek, a fejlesztés előtti teljesítmények három év átlagát jelentik.

Összegezve a hőközponti fűtési szivattyúk energiahatékonysági csereprogramja 100,5 kW értékkel járult hozzá a virtuális erőmű építéséhez.

A Távhőrendszerei keringtető szivattyú cserék fent ismertetett projektjei mindösszesen 120,5 kW értékkel járultak hozzá a virtuális erőmű építéséhez.



VEP díjazottak – 2019



A Magyar Innováció és Hatékonyság Nonprofit (MI6) Kft. a hazai zöldgazdasági szakmapolitika meghatározó szereplője. Virtuális Erőmű ProgramTM-ja keretében 2019-ben is meghirdette az Energiahatékonysági Kiválósági Pályázatát, melynek eredményeképpen az energiatudatos és energiahatékony vállalatok díjakat vehettek át a Parlamentben megrendezésre kerülő, X. Jubileumi Díjátadó Gálán. A program fővédnöke Dr. Áder János köztársasági elnök.

A 2011-ben indított Virtuális Erőmű ProgramTM (VEP) 2020-ra kitűzött célja egy 200 MWe névleges teljesítményű fosszilis erőmű termelésének kiváltása volt, igazolt energia megtakarításokból. A Program indulása óta eddig 212 MWe-nak megfelelő megtakarítást gyűjtött, így a 2020-ra kitűzött célt már 2018-ben túlteljesítették, és ezzel az eredménnyel a Virtuális Erőmű a 6. legnagyobb magyar villamos erőművé vált. A 2018. március 6-án meghirdetett VEP2 program célja, hogy a Virtuális Erőmű Program 2030-ra Magyarország második legnagyobb erőműve legyen.

A Virtuális Erőmű a következőképpen működik: az energiahatékonysági beruházással elért megtakarításukat a szervezetek „bebankolják” a programba. A Program az éves megtakarítást átszámolja erőművi kapacitásra, vagyis meghatározza, hogy mekkora erőműre nincs szükség a megtakarítás eredményeképpen. Az egyes szervezetek megtakarításaiból tehát egy láthatatlan, virtuális erőmű épül, melynek célja egy nagy, hagyományos fosszilis erőmű kiváltása.

A díjátadón a Klebelsberg Központ, a Megyei Jogú Városok Szövetsége, és a Települési Önkormányzatok Országos Szövetsége első, a Get-Energy Kft. második, a Cothec Energetikai Üzemeltető Kft. pedig hetedik alkalommal vehette át a Virtuális Erőmű Program legrangosabb vállalati díját, az Energiahatékony Mentorvállalati díjat.

A 2019-ben díjazott energiahatékony Vállalatok:

- Resideo Technologies – Honeywell Hőtechnikai Kft.
- MOL Petrolkémia Zrt.
- FALCO Zrt.

- Knorr Bremse VJRH Kft.
- MOL Nyrt.
- Budapesti Távhőszolgáltató Zrt.
- VELUX Magyarország LKR Kft.
- LAFARGE Cement Magyarország Kft.
- GE Hungary Kft.

A 2019-ben díjazott Energiatudatos Vállalatok:

- BKV Zrt.
- BKV Vasúti Járműjavító Szolgáltató Kft.
- Pálos Vendégház
- Terrán Kft.
- Nissan Sales Central and Eastern Europe Kft.

Egyéni díjazottak:

- Az év energetikai szakértője: Bérczi József Dániel, MOL Petrolkémia Zrt.
- Az energiamenedzsere: Bacskayné Szécsény Julianna, MOL Nyrt.
- Az év energetikusa: Szalai Szabolcs, FŐTÁV Zrt.
- Az év energetikai tanácsadója: Torma József, Terbete Consulting Kft.

A 2011-ben megkezdett Program a korábbi filozófia és az Európai Unió által is elismert és díjazott jó gyakorlatként folytatódik tovább, új, még ambiciózusabb célkitűzések mentén. Jól ismert Energiahatékonysági Kiválósági Pályázatunk a júniustól újra meghirdetésre kerül a nagy érdeklődésre való tekintettel.

A 2018-as tavaszi és őszi díjátadónk kisfilmje elérhető a www.mi6.hu oldalon és a www.youtube.com/watch?v=uYK7ei2dLOQ alatt.

Csatlakozzon Ön is Virtuális Erőmű Programhoz, osztozzon a sikereken, és vegye át a díjat a zöld szakmai és politikai élet kiemelt szereplőitől!

Oletics Zoltán, zoltan.oletics@mi6.hu

Energetikai Tanulmányi verseny 2019 beszámoló

Az Energetikai Szakkollégium a 2018/19-as tanévben rendezte meg, a 11. Energetikai Tanulmányi versenyt, melynek döntője története során először két napos volt. A 2009 óta minden évben megrendezésre kerülő háromfordulós versenyen idén is középiskolás tanulókból álló csapatok mérhették össze tudásukat.

Az első fordulóra idén 87 háromfős csapat jelentkezett, köztük több határon túli is. Ez a forduló a korábbi évekhez hasonlóan három minifordulóból állt, és heti rendszerességgel kiküldött online teszt-sorok formájában valósult meg. Ezek során általános energetikai témájú feleletválasztós kérdéseket, valamint a középiskolai fizika-tudásra építő rövid számolási példákat kellett megoldaniuk a csapatoknak. Az utolsó minifordulóban a csapatoknak az előző évektől eltérően egy egyperces videót kellett készíteniük, arról hogy milyen ötletük van az energetika megújítására.

A legjobb 20 csapat jutott tovább a második fordulóba, amelyben a versenyzőknek komplex tervezési feladatot kellett megvalósítaniuk. Egy képzeletbeli, rendkívül rossz állapotban lévő szentendrei családi házat kellett felújítaniuk az energiahatékonyság jegyében. Eredményeiket esszé formájában és online videókonferencián keresztül mutatták be a szervezőcsapatnak. Munkáik pontozása során a fő szempont az energiahatékonyság és kreativitás volt, emellett értékelésre került a költséghatékony-

ság, a megvalósíthatóság, valamint a feladatban ismertetésre került lakók igényeinek kielégítése.

A 2019. január 31. és február 1. között, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen megrendezett döntőbe a tíz legjobban teljesítő csapat jutott be, ahol különféle energetikához kapcsolódó feladatokban mérhették össze tudásukat. (A fényképen a verseny döntőjének résztvevői. Bízunk benne, hogy jövőre már műegyetemistaként állhatnak meg a K épület főbejárata előtt.)

A csütörtöki nap folyamán a versenyzők olyan feladatokat oldottak meg, amely során magyarországi villamosenergia-felhasználáshoz kapcsolódó diagramokról szóló teszt mellett egy „feladatváltó” és a Főtv Zrt. munkatársai által kidolgozott feladat várt a csapatokra. A délután további részében a csapatok nagyobb csoportokban összevonva egy budapesti városnézés keretében megtekinthették a város nevezetességei közül néhányat, mint például a Szt. István Bazilikát és a Dohány utcai zsinagógát. A városnézés végén a csoportok a Vörösmarty térre érkeztek, ahol két csoportban tanáraikkal együtt megtekinthették a földalatti alállomást. A nap végén a versenyzők szállásukon ismerkedős játékokkal és vetélkedőkkel kapcsolódhattak ki és barátkozhattak össze egymással.

A pénteki napon délelőtt két csoportra osztva párhuzamosan zajlottak a szakmai zsűri előtt a csapatok prezentációi és a laborfeladatok. A csapatok a második fordulóban kidolgozott esszéjét a döntőre kiegészített részfeladattal együtt mutatták be.



A prezentációkat értékelő szakmai zsűri tagjai idén Dr. Zsebik Albin (BME-EGR, BPMK), Csapó Róbert (MVM Zrt.), Nagy Zoltán Gábor (Cothec Kft.) és Dr. Hartmann Bálint (BME-VET, ESZK pártoló tag és az első tanulmányi verseny szervezője) voltak.

Eközben a versenyzők másik fele a Villamos Energetika Tan-szék laboratóriumaiban különféle elektromossággal kapcsolatos méréseket, számolásokat, jelenségmagyarázatokat oldott meg a Szakkollégium tagjainak vezetésével.

A délelőtti prezentációkat és laborfeladatokat egy rövid ebéd után ismét versenyfeladatok követték, melyeken belül a csapatoknak az energetikához kapcsolódó tabu játék során kell különféle szakmai szavakat körülírniuk egymásnak, majd ezt követően változatos témák mellett vagy ellen kellett érvelniük egy-egy, az adott terminológiában jártas szakkollégistával.

Az eredményhirdetésre késő délután került sor. Bevezető beszédében Mihók Anna, a Szakkollégium titkára megdicsérte a versenyzők teljesítményét, megköszönte a felkészítő tanárok munkáját, bemutatta a tanulmányi verseny támogatáit, megköszönte a támogatást.

A Budapesti és Pest megyei Mérnöki Kamara (BPMK) fontosnak tartva a mérnöktársadalom utánpótlását is segítő tanulmányi verseny szervezését a döntőbe jutó csapatoknak könyveket ajánlott fel. A könyveket Dr. Zsebik Albin, a BPMK elnökségi tagja egy rövid beszéd kíséretében adta át. Beszédében – megdicsérve a versenyzők beszámolóit – kiemelte, hogy aki a döntőig eljutott, az már mindenképpen győztesnek érezheti magát. Kifejezte reményét, hogy a résztvevők közül sokan választják a mérnöki hivatást.

Az okleveleket Sörös Milán, a verseny főszervezője, a nyerményeket pedig Mihók Anna adta át. Az I. helyezett csapat ajándékait a Nemzeti Tehetség Program támogatta, a II. helyezett nyerményét a Főtáv Zrt. biztosította, a III. díjakat a Cothec Kft. adományozta. A IV-VI. helyezettek az MVM Zrt. és a Paksi Atomerőmű Zrt. által felajánlott ajándécsomagokat vihették haza, a többi helyezettet az Energetikai Szakkollégium támogatta. A legjobb iskola díja immár hagyományosan a Manitu Solar Zrt. által felajánlott napelempanel volt.

Az első három helyezést az alábbi csapatok érték el:

I. helyezett: Saját Válasz 2.0 – Türr István Gimnázium és Kollégium, Pápa

Csapattagok: Endrész Balázs, Mészáros Márton, Tafferner Zoltán

Felkészítő tanár: Szilos Attila

II. helyezett: Alfa-Team – SZTE Gyakorló Gimnázium és Általános Iskola

Csapattagok: Rúzsa Kata, Jáger Balázs, Schmera Dániel

Felkészítő tanár: Csizsár Imre

III. helyezett: Space Cubs 2.0 – Mikszáth Kálmán Líceum

Csapattagok: Fodor Menta Laura, Pajkos Barnabás, Tóth Péter

Felkészítő tanár: dr. Medvényé Bató Éva

Legjobb iskola: Türr István Gimnázium és Kollégium, Pápa

A Szakkollégium nevében ezúton is megköszönjük a tanulmányi verseny szervezésének támogatását.

A cikk szerzői: Beke Tamás, Jurásek Janka, Molnár Martin, Sörös Milán Attila, Szirtes Máté, Tóducz Edith

SAJTÓKÖZLEMÉNY

Magyarország vezető szerepet játszhat a nyugat-balkáni országok éghajlatvédelmi fejlesztéseiben

A kormány döntése alapján, a Párizsi Megállapodás végrehajtásának elősegítése céljából Nyugat-Balkáni Zöld Központ Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság jön létre. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium és a dél-koreai székhelyű Globális Zöld Növekedési Intézet (GGGI) által közösen életre keltett társaságon keresztül hat országban (Albánia, Bosznia és Hercegovina, Koszovó, Észak-Macedónia, Montenegró és Szerbia) valósulhatnak meg klímavédelmi tevékenységek.

A kezdeményezésnek köszönhetően Magyarország vezető szerepet játszhat a nyugat-balkáni országok éghajlatvédelmi célkitűzéseikhez köthető projektek fejlesztésében, magyar vállalkozások klímafinanszírozási pályázati lehetőségekhez férhetnek hozzá a térségben. A finanszírozásához szükséges, éves szinten várhatóan több százmillió forintos keretösszeget a kvótabevételek terhére biztosítja majd a minisztérium.

Kaderják Péter energiaügyekért és klímapolitikáért felelős államtitkár hangsúlyozta: „A magyar kormány és a Globális Zöld Növekedési Intézet az elkülönített alappal a nyugat-balkáni régió zöld átalakulását kívánja elősegíteni. A Központ felállítását Magyarország elköteleződését bizonyítja a Párizsi Megállapodás iránt. A projekt célzott tevékenységeken keresztül támogatja a kibocsátás-csökkentési intézkedéseket és az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodást a térségben.”

Ban Ki Mun, a GGGI elnöke, korábbi ENSZ-főtitkár is elismerően szólt a kezdeményezésről: „Nagy örömmre szolgál, hogy a GGGI egy olyan eszköz kialakítását támogatta, amely segíti a régió Párizsi Megállapodás égisze alatt tett vállalásainak megvalósítását. A magyar kezdeményezés kritikus szerepét játszik a zöld infrastruktúra-beruházások támogatásában. A GGGI becslése szerint az Alap első fázisában minden projekt-előkészítésre fordított 100 ezer dollár közel 10 millió dollárt mozgósíthat az infrastrukturális beruházásokban.”

A Központ már 2019-től támogathat projekt-előkészítést és kapacitásépítést a régióban, finanszírozási támogatáson keresztül, a vízgazdálkodás, az erdészet és a fenntartható energiahasználat területén. Létrehozása egy kiterjedtebb és ambiciózusabb erőfeszítés felé tett első lépés, hiszen várhatóan 2021-ben felállhat egy többszereplős pénzügyi alap a regionális és V4+ országok lehetséges bevonásával, klímaprojektek közös megvalósítása érdekében.

(ITM Kommunikációs Főosztály, sajtoipm@gov.hu)