ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata *56. évfolyam 2015. 5-6. szám*

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

XXIII. NEMZETKÖZI ENERGIA ÉS INNOVÁCIÓS FÓRUM

„Előremutató energetikai fejlesztésekkel, innovatív rendszerekkel a fenntartható jövő felé."

Már most jegyezze elő naptárába!

2016. február 17-19., VISEGRÁD

Témák és modulok:

- Irányító hatóságok
- Energiastratégia
- Nemzetközi körkép
- Gázpiac
- Megújuló energiák
- Villanyáram és villanyautók
- Áramtárolás
- Innovációk
- Sikeres vállalkozások

Jelentkezés és további információk:
www.foenergetikus.hu

Fővédnökeink:

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium

BKIK

SUNWO

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata *56. évfolyam 2015. 5-6. szám*

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

Főszerkesztő:
Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:
Dr. Bihari Péter

Szerkesztőség vezető:
Molnár Alexa

Szerkesztőbizottság:
Dr. Balikó Sándor, Dr. Bihari Péter, Czinege Zoltán, Dr. Csűrök Tibor, Eörsi-Tóta Gábor, Dr. Farkas István, Gáspár Attila, Juhász Sándor, Korcsog György, Kövesdi Zsolt, Lipcsei Gábor, Mezei Károly, Dr. Molnár László, Dr. Nagy Valéria, Németh Bálint, Romsics László, Dr. Serédiné Dr. Wopera Ágnes, Dr. Steier József, Dr. Ströbl Alajos, Szabó Benjámin István, Dr. Szilágyi Zsombor, Vancsó Tamás, Dr. Zsebik Albin

Honlap szerkesztő:
Csernyánszky Marianne
www.ete-net.hu
www.energiamedia.hu

Kiadja: Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület
1091 Budapest, Üllői út 25., IV. em. 419-421 sz. Tel.: +36 1 353 2751,
+36 1 353 2627, Telefax: +36 1 353 3891,
E-mail: titkarsag@ete-net.hu

Felelős kiadó:
Bakács István, az ETE elnöke

A szekesztőség címe:
BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.
D épület 222 sz.
Telefon: +36 30 278 2694, +36 1 463 2981.
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.
bukibt@t-online.hu

Nyomdai munkák:
Innova-Print Kft.

Lapunkat rendszeresen szemlézi a megújult
OBSERVER
www.observer.hu

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Energiagazdálkodás * Energy Management * Energiemanagement

Balikó Sándor
Az energiagazdálkodás fogalma és célkitűzése 3
The Concept and Objective of Energy Management
Der Begriff und die Ziele des Energiemanagements

Atomenergia * Nuclear Energy * Kernenergie

Ősz János
A VVER-1200 gőzfejlesztők megbízhatósága 10
The Reliability of VVER-1200 Steam Generators
Die Zuverlässigkeit der VVER-1200 Dampfgeneratoren

Szondi Egon János
A Paksi Atomerőmű I. és II. kiépítésének primer köri exergiagazdálkodása 18
Exergy Economy in the Primary Circuit of NPPs Paks I and II
Primärkreis Exergiemanagement beim Ausbau des Kernkraftwerks Paks I. und II.

Napenergia * Solar Energy * Solarenergie

Börcsök Endre, Osán János
Időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléssel együttműködő tároló kapacitások gazdasági szempontú elemzése 24
An Economical Approach to the Integration of Energy Storage Units and Intermittent Renewable Energy Production
Ökonomische Analyse von an wetterabhängige erneuerbare Stromerzeugung gebundenen Speicherkapazitäten

Háber István Ervin, Farkas István
Micro heat-pipe rendszerű PV/T kollektorok vizsgálata 30
Investigation of Micro Heat pipe PV/Ts
Untersuchung von Mikro Heizrohr PV/T Kollektoren

Biomassza * Biomass * Biomasse

Cséfalvay Edit, Csendes Kitti Anita, Horváth Viktória, Stelén Gábor
Cukorcirok szirup előállítási technológia fejlesztése laboratóriumi körülmények között 36
Developing a Technology to Produce Sorghum Syrup in Laboratories
Weiterentwicklung der Herstellungstechnologien von Zuckersirup unter Laborbedingungen

Lezsovits Ferenc, Alexander Bernhardt, Bodo Groß
Elektrosztatikus porleválasztó biomassza tüzelésű kazánokhoz 100 kW teljesítményig 41
Electrostatic Dust Separation for Biomass Boilers Up To 100 kW
Elektrostatische Entstaubung mit Biomasse befeuerte Boiler bis zu 100 kW Kapazität

Hulladékhasznosítás * Waste Recycling * Abfall-Recycling

Molnár Tamás Géza
Depóniagáz termelés technológiája a hódmezővásárhelyi hulladéklerakó telepen 51
Technology of Landfill Gas Production at the Refuse Dump in Hódmezővásárhely
Technologie der Deponiegasproduktion an der Mülldeponie in Hódmezővásárhely

Hőellátás * Heat Supply * Wärmeversorgung

Büki Gergely†, Orbán Tibor
Település-hőellátás helyi forrásokból, hatékonysága és megvalósítása I. 56
Heat Supply of Towns and Villages from Local Sources, Its Efficiency and Implementation I
Gemeinde-Wärmeversorgung aus lokalen Quellen, ihre Effizienz und Realisierung I.

„Települési hőellátás helyi energiával” című konferencia ÁLLÁSFOGLALÁSA 62
Resolution of the Conference on „Heat Supply of Towns and Villages with Local Energy”
Stellungnahme der Konferenz zur „Gemeinde-Wärmeversorgung mit lokaler Energie”

Papp József hozzászólása
Comment by József Papp
Beitrag von József Papp
Gáz helyett a talajvíz hőjével lehetne fűteni! 63
We Could Use Heat from the Ground Water for Heating Instead of Gas
Heizung mit der Wärme vom Grundwasser statt Gas

Korényi Zoltán hozzászólása 65
Comment by Zoltán Korényi
Beitrag von Zoltán Korényi

Klímapolitika * Climate Policy * Klimapolitik

Reményi Károly
IPPC prognózisok és a tényadatok 66
IPPC Prognoses and Facts
IPPC prognózisok és a tényadatok

EU helyzetkép * EU Position * EU Position

Eperjesi Zoltán
Fenntartható, versenyképes megújuló energiaforrásokat integráló energiaellátás az Európai Unióban, különös tekintettel a napenergiára 69
Energy Supply Integrating Sustainable, Competitive Renewable Energy Sources in the European Union with Special Focus on Solar Energy

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

Energieversorgung in der Europäischen Union durch die Integration von nachhaltigen und wettbewerbsfähigen erneuerbaren Energiequellen, mit Schwerpunkt auf Solarenergie

Molnár László
Európai energetikai körkép 72
European Energy Review
Europäische energetischer Rundblick

Gruhala Ádám, Mezősi András
A közép-kelet-európai erőművi beruházások vizsgálata 76
Investigation of Power Plant Projects in Central and Eastern Europe
Analyse von Kraftwerksinvestitionen in Mittel-Ost-Europa

Földgáz * Natural Gas * Erdgas
Szilágyi Zsombor
Földgáz ár kilátások 80
Natural Gas Price Outlook
Preisaussichten von Erdgas

Szilágyi Zsombor
A kőolaj ármozgás hatása 82
Impact of Changes in Oil Prices
Wirkungen der Veränderung von Erdölpreisen

Hírek * News * Nachrichten
A TECLENERGY project, amely technológiai és jogi kérdéseket tartalmazó képzési modulokat fejleszt főként a török energia szektorban érdekeltek számára 84
TECLENERGY project, developing training modules focusing on technological and legal issues for those interested in the Turkish Energy Sector
TECLENERGY Projekt, das Fortbildungsmodule mit technologischen und rechtlichen Fragen entwickelt, hauptsächlich für die Interessenten im türkischen Energiesektor
Büki Gergely nekrológ 85
Obituary of Gergely Büki
Nachruf auf Gergely Büki

Szakkollégiumi hírek * News from the Student Association of Energy * Nachrichten aus dem Fachkolleg 86

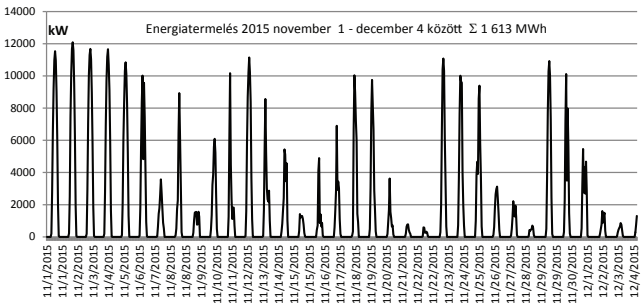
Szeniorok * Seniors * Senioren
Szeniorok program 88
Senior Club Programme
Senior-Klub Programme

Kihelyezett elnökségi ülés

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület az ETE Mátrai csoportjának meghívására 2015. november 24-én a Mátrai Erőműben tartotta Elnökségi ülését. Az ülés előtt Giczey András az erőmű igazgatója adott tájékoztatást az erőmű helyzetéről, a fejlesztési elképzelésekről.

Az ülés alkalmával aláírták a megbízási szerződést, amely alapján az erőmű munkatársai az ETE-vel együttműködve készítik az energiahatékonysági törvény által előírt kötelező energetikai auditot.

A tájékoztatást követően az Elnökségi ülés résztvevői megtekintették a 2015. október elején üzembe helyezett naperőművet, a külfejtést, valamint az erőmű hűtőtornyaiban elhelyezett kénleválasztó berendezéseket.



A fényképen az elnökségi ülés résztvevői, a több millió éves fatörzs maradvány mellett egy kotrógép kanala, s a bánya látványa a 3-as út mellett kialakított kilátóból. Az ábrán a naperőmű teljesítménye és energiatermelése. A naperőműről bővebb információ a 35. oldalon és http://www.mert.hu/hu honlapon.

Az energiagazdálkodás fogalma és célkitűzése

Dr. Balikó Sándor
okl. gépészmérnök, sbaliko@t-online.hu

Az energiagazdálkodás és energiahatékonyság fogalmát naponta használjuk, már nemzeti és nemzetközi programok is épülnek rá, ugyanakkor bizonyos fogalmakat még nem minden esetben használunk egységesen, értelmezéseik a szakirodalomban is eltérők. A cikkben annak a ténynek a fontosságára szeretnénk rámutatni, hogy a megújuló energia is primer energia, és az energiahordozók primerenergia-tartalmai fizikai paraméterek még akkor is, ha azt a célfüggvényben különböző (energiapolitikai) súlyokkal szerepeltetjük.

*

The terms of energy economics and energy efficiency are used in everyday discussions. Even local and international conferences are hold on this subject, yet, some of these terms have not been used uniformly and have different meaning depending on the literature. This paper highlights the fact that renewable energy is primary energy and the energy contains of this source is a physical parameter even if it has different (energy political) weight in the objective function.

* * *

Az energiagazdálkodás energiaátalakítási, elosztási és felhasználási folyamatok célzott műszaki-gazdasági irányítását jelenti. A cél egy adott gazdálkodó egység energiafogyasztásának minimális értéken tartása a gazdaságosság korlátozó feltételeinek a figyelembe vételével. A fogalom használatos szűkebb értelemben, csak az üzemvitelre vonatkozóan, de tágabb értelemben a veszteségfeltárást és az energiafogyasztás csökkentésére irányuló fejlesztést is beleértjük.

Az energiagazdálkodás keretén belül térben és időben mindig jól körülhatárolható rendszerekkel foglalkozunk.

- a rendszeren belül történnek a vizsgált energiaátalakítási, elosztási és felhasználási folyamatok,
- a rendszert a környezetétől a rendszer határa választja el,
- a rendszer és környezete között kölcsönhatások jönnek létre, ezek között lényeges az energiahordozók áramlása
- a vizsgált rendszer mindig valamilyen feladatot teljesít és
- a rendszernek, feladata teljesítéséhez, energiára van szüksége.

A működtetett rendszerünk az energiát mindig valamilyen energiahordozó formájában kapja.

Az energiagazdálkodásban a vizsgált rendszer valamilyen önálló elszámolású gazdasági egység, létesítmény, vagy létesítmény csoport. Az energiagazdálkodásért felelős személy vagy szervezet – akit a továbbiakban energetikusnak nevezünk – (esetleg korlátozott döntési jogokkal) részt vesz a létesítmény vezetésében, üzemelteti a létesítmény energiaellátását biztosító alrendszert, összesíti és a gazdálkodás számára érthetővé, felhasználhatóvá teszi az energiafogyasztásokkal kapcsolatos tényadatokat, és javaslatokat tesz az energetikai fejlesztésekre. Az energetikusi tevékenység az üzemeltetés szerves része, de ehhez – különösen kisebb szervezeteknél – időszakos feladatokra külső szakértő vagy szakértői csoport is igénybe vehető.

Az energetikus a vállalati vagy szervezeti munkamegosztásban az energiagazdálkodásért felelős, ezért elsődleges célja a hatáskörébe tartozó rendszer energiafogyasztásának minimalizálása.

A primerenergia-tartalom fogalma

Egy vállalat[1] rendszerint többféle energiahordozót használ. Ezek együttes fogyasztásának minimalizálását kell célnak tekinteni.

Az egyes energiahordozók rendelkezésre állásához különbözőképpen vesszük igénybe a természet erőforrásait. A jelenlegi energiastatisztika primer és szekunder energiahordozókat különböztet meg. Primernek nevezi azokat, amelyek lényeges fizikai és kémiai átalakítások nélkül jutnak el a fogyasztókhoz (ilyenek pl.: szén, kőolaj, földgáz), és szekundernak azokat, amelyek fizikai és/vagy kémiai átalakítással, esetleg közvetítő közeg felhasználásával jutnak el a fogyasztóhoz (ilyenek pl.: villamos energia, távhő stb.). A megújuló energiákat (nap-, föld-, szélenergia stb.) primer energiának tekintjük, de rendszerint külön kategóriaként kezeljük. A szekunder energiát egy vagy több primer energia felhasználásával egy η hatásfokú átalakítással nyerjük, azaz a szekunder energia felhasználásához:

$$E_{pr} = \frac{E_{\sec}}{\eta} = e_{\sec} E_{\sec}$$

primer energiát kell felhasználnunk. Az $e_{\sec}$ változót az adott szekunder energiához rendelt fajlagos primerenergia-tartalomnak nevezzük.

Valójában a primer energiahordozók fogyasztásra alkalmassá tételéhez és fogyasztóhoz juttatásához is szükség van segédenergiára, ezért bevezetjük az általánosított fajlagos primerenergia-tartalmat:

$$e = \frac{E_{pr}}{E} = 1 + \frac{\sum_n e_{s,i} E_{s,i}}{E} \qquad (1)$$

ahol E a fogyasztók által felhasznált energia, $E_{s,i}$ az i-ik segédenergia, $e_{s,i}$ az adott segédenergia primerenergia-tartalma, n pedig a segédenergia fajták száma. Az (1) egyenlet jobb oldalán szereplő $e_{s,i}$ értékek között szerepelhet a vizsgált energiahordozó primerenergia-tartalma is, mint önfogyasztás ilyenkor:

$$e_j = 1 + \frac{E_{s,j}}{E_j} + \frac{1}{E_j} \sum_{i \neq j} e_{s,i} E_{s,i}$$

ahol j indexszel jelöltük a vizsgált energiahordozót.

Minél nagyobb egy energiaellátó hálózat, annál bonyolultabb a fajlagos primerenergia-tartalom meghatározása. Ehhez statisztikai módszereket kell alkalmazni, amelyek eredményeként egy átlagértéket kapunk.

A hagyományos primerenergia-termelő és felhasználó folyamatokban a termelés (bánya, energiaforrás) – előkészítés – szállítás – felhasználók folyamata lineáris, így a segédenergia-felhasználások összeadódnak. Pl.: egy földgáz hálózatra:

$$E_{s,pr} = e_E E_{s,E} + e_{SZ} E_{s,SZ}$$

[1] Az egyszerűség kedvéért a vizsgált rendszer általános fogalma helyett gyakran a vállalat elnevezést használjuk, de természetesen ez alatt is bármilyen gazdálkodó egységet értünk.

ahol az *E* index az előkészítő üzemekre és az *SZ* index a szállítás létesítményeire (pl. nyomásfokozó kompresszorállomás) vonatkozó nem földgáz segédenergiákra vonatkozik, természetesen az egész hálózatra összesítve. Az energiahordozó mennyiségi veszteségeit a termelt nyersgáz és a felhasznált összes földgáz mért energiatartalmának különbségével vesszük figyelembe:

$$e = \frac{E_{termelt} + E_{s,pr}}{E_{felhasznált}} \qquad (2)$$

Összekapcsolt hálózatoknál a másik rendszerbe átadott gázt fogyasztónak, a másik rendszerből átvett gázt e_{pr} primerenergia-tartalommal termelt energiának kell tekinteni.

A (2) képlet valamennyi értékét mért adatokból számítjuk, mégis tartalmaz bizonytalanságokat, hiszen sok esetben szubjektíve tudjuk csak meghatározni, hogy egy földgáz előkészítéssel foglalkozó üzem, ami több célt is szolgálhat, az összes segédenergia-fogyasztásából mennyit használ fel a földgáz előkészítésének vagy továbbításának érdekében.

Ha a termelt földgáz jelentős mennyiségű olajat (gazolint) tartalmaz, ami további felhasználásra kerül, vagy az előkészítés során céltermékeket választunk le belőle (pl.: propánt, butánt stb.), ezeknek a termékeknek az energiatartalmát a termékekre felosztva vehetjük figyelembe. Lényeges, hogy minden hasznosított termékhez (ha az energiahordozóként felhasználható), de csak ahhoz, tartozik egy fajlagos primerenergia-tartalom. Ha más egyéb szempont nincs, célszerű a primerenergia-tartalmat a hasznosított energiaáramok arányában felosztani. Jelöljük η_0-lal az energiahordozóként történő hasznosítás hatásfokát, ekkor az 1. ábra jelöléseivel:

$$\eta_0 = \frac{E_1 + E_2}{E_{be}}$$

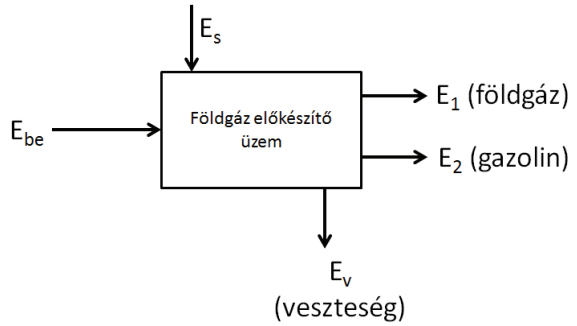
A két hasznosított energiahordozó primerenergia-tartalma:

$$e_1 = e_2 = \frac{e_{be}}{\eta_0} + \frac{e_s}{E_1 + E_2} E_s$$

ahol e_{be} a belépő, e_s pedig a segédenergia-áramok primerenergia-tartalma.

Ezzel a felírási móddal kielégítjük a primerenergia-mérleg követelményeit is:

$$e_{be}E_{be} + e_sE_s = e_1E_1 + e_2E_2$$



1. ábra. **Földgáz előkészítő üzem energiaáramai**

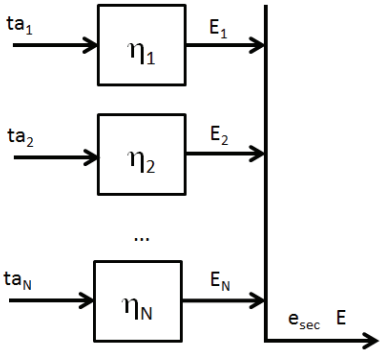
Hasonló gondolatmenetet alkalmazunk más energiahordozóknál is.

Tűzifánál pl. termelt, azaz primer energiának csak a tüzelésre felhasznált fát lehet tekinteni, segédenergiaként viszont az előkészítés (pl. hasogatás, brikettálás stb.) energiaigényén kívül a szállítás üzemanyag-fogyasztását is figyelembe kell venni. A tüzifából származtatott, külön szekunder energiahordozóként kezeljük a pelletet és a biobrikettet.

A szekunder energiahordozók primerenergia-felhasználását, ha az átalakítás során csak egyfajta energiahordozót termelünk, az összhatásfokból (beleértve az önfogyasztást is) számíthatjuk a primerenergia-tartalmat. Különböző tüzelőanyagokból, különböző hatásfokú átalakításoknál közös szekunder rendszer esetén (2. ábra):

$$e_{sec} = \frac{1}{\sum_N E_i} \sum_N \frac{e_{ta,i} E_i}{\eta_i} \qquad (3)$$

ahol e_{ta} a felhasznált belépő energiahordozók primerenergia-tartalma, $\eta_{össz}$ az átalakítás összhatásfoka.

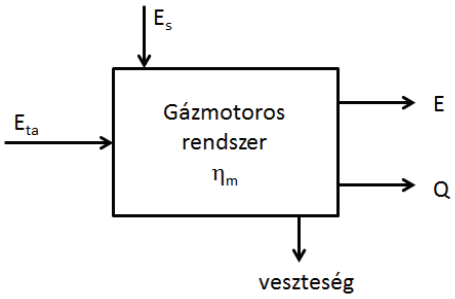


2. ábra. **Közös hálózatra kötött rendszer energiaátalakítás**

Olyan átalakító rendszereknél, amelyek többféle szekunder energiát szolgáltatnak, célszerű – mint azt a földgáz előkészítésnél is tettük – a szolgáltatott energiák mennyiségének arányában megosztani a felhasznált primer energiát[2]. Így pl. a kapcsolt villamosenergia-termelésre, ha *E* a termelt villamos energia és *Q* a szolgáltatott hő (3. ábra):

$$e_{vill} = e_{th} = \frac{e_{ta}}{\eta_m} + e_s \frac{E_s}{E + Q} \qquad (4)$$

ahol E_s a nem saját rendszerből vett segédenergia-felhasználás, η_m a mennyiségi hatásfok és e_{ta} a felhasznált energiahordozó primerenergia-tartalma.



3. ábra. **Kapcsolt energiatermelés**

[2] Ez a felosztás fizikailag nem bizonyítható. A kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésben így a nem kapcsolt rendszerekhez képest a villamos hálózatban jelentős hatásfok növekedést, a hőszolgáltatásban pedig hatásfok csökkenést mutathatunk ki. Ezért az irodalomban más felosztásokat is alkalmaznak. Szokásos pl. a kapcsolt rendszer előnyét teljes egészében a hőszolgáltatásra vonatkoztatni.

A megújuló energiák primerenergia-tartalma, ha kinyerésük a vizsgált rendszeren belül történik, e_U=1.

Vannak olyan energiahordozók, mint pl. az üzemanyagok, amelyekre nem tudunk általános összefüggéseket felírni. Ilyen esetben a szolgáltatónak kell meghatározni a szolgáltatott energiahordozó primerenergia-tartalmát.

Ha a hűtést szolgáltatásként vesszük igénybe, akkor a rendszerből energiát vonunk el, az energiaáram negatív. Mivel a hűtéshez is energiára van szükség, amit szintén primer energia felhasználásával állítunk elő, a hűtésnek is definiálhatunk primerenergia-tartalmat. Ennek értéke – igazodva a negatív hőáramhoz – negatív:

$$e_h = -\frac{E_{pr,hüt}}{Q_0} \tag{5}$$

ahol $E_{pr,hüt}$ a hűtőrendszer primerenergia-fogyasztása és Q_0 a szolgáltatott hűtési energia.

Az olyan nagy rendszerek, mint pl. az országos hálózatok, túlságosan bonyolultak ahhoz, hogy analitikusan végigvezessük az energiahordozók veszteségeit. Ilyenkor az energiastatisztikai adatokból nagyságrendi közelítéseket alkalmazunk.

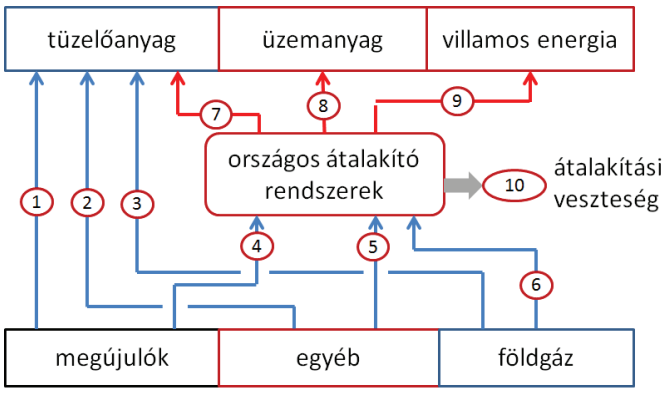
Első, durva közelítésként a fogyasztások és a termelés volumenének arányából indulhatunk ki. Magyarországon 2012-ben az energiafogyasztás és termelés aránya F/G=0,63 volt [1]. Ebből a fajlagos primerenergia-tartalom:

$$e_{átl} = \frac{1}{F/G} = 1{,}587$$

azaz átlagosan Magyarországon minden GJ energiafogyasztáshoz 1,587 GJ primerenergia-fohyasztás tartozik.

Pontosabb közelítést kapunk, ha az átalakított energiáknál figyelembe vesszük azok átlagos hatásfokát. Ekkor – a szállítási és elosztási veszteségeket elhanyagolva – a primerenergia-hordozókra e=1 értéket veszünk fel, a szekunder energiahordozókra pedig $e=1/\eta_{átl}$.

Tovább finomíthatunk az adatokon, ha a BÜKI-féle modelleket [1] használjuk.



4. ábra. **Az országos energiahálózat modellje**

Vegyük pl. az országos energiahálózat modelljét (4. ábra)! Feltételezve, hogy az ábra 1-9 áramának mind be-, mind kimenő értékeit ismerjük, az 1, 2, 3 áramokra:

$$e_i = \frac{E_{be,i}}{E_{ki,i}}$$

A szekunder energiahordozókhoz definiáljunk egy η_{be} hatásfokot:

$$\eta_{be} = \frac{(E_4 + E_5 + E_6)_{ki}}{(E_4 + E_5 + E_6)_{be}}$$

Ezzel a 7, 8 és 9 áramokra:

$$e_i = \frac{1}{\eta_{be}} \frac{1}{\eta_{átl}} \frac{E_{ki,i}}{E_{be,i}} = \frac{1}{\eta_{be}} \frac{(E_4 + E_5 + E_6)_{ki}}{(E_7 + E_8 + E_9)_{be}} \frac{E_{ki,i}}{E_{be,i}}$$

ahol $\eta_{átl}$ az átalakítás átlagos hatásfoka.

Ez még mindig elég durva közelítés, ami célirányos energiastatisztikai kutatásokkal tovább finomítható. Lényeges azonban hogy a fajlagos primerenergia-tartalomnak mindig fizikai tartalma van, még akkor is, ha ezeket az értékeket a célfüggvényekben különböző mértékben súlyozunk.

Belátható, hogy egy vállalati energetikustól, de még a megbízott szakértőtől sem várható el, hogy ezeknek a primerenergia-tartalmaknak az értékeit meghatározza. Országos vagy regionális hálózatokra ezeket a nemzeti energiastatisztikai kutatásokkal lehet meghatározni, folyamatosan karban tartani és közzé tenni. Kisebb rendszerekre (pl. távhő hálózat), vagy egyedi kiszolgálásokra e értékeit a szolgáltató tudja meghatározni.

A célfüggvény

A fenntarthatóság és a vállalati munkamegosztás figyelembe vételével az energiagazdálkodás céljának a vizsgált rendszer primerenergia-fogyasztásának minimalizálását tekintjük[3]. Ha a rendszer határait átlépő energiahordozók energiaáramai sorban E_1, E_2, …E_n, és a szolgáltatásként elvont hő Q_0, a célfüggvény:

$$C = E_{pr} = e_1 E_1 + e_2 E_2 + \ldots + e_n E_n + e_h Q_0 = \mathbf{e}^T \mathbf{E} \rightarrow \min \tag{6}$$

ahol **E** az energiahordozók által bevitt energiaáramok és **e** azok primerenergia-tartalmának rendezett vektorai.

A (6)-ban szereplő energiaáramok nem adják ki a rendszer energiamérlegét, hiszen a bevitt alap- és segédanyagok, az ivóvíz és a hűtőlevegő a beviteli oldalon, illetve elfolyó szennyvíz, hő- és anyagveszteségek, vagy pl. az éghető hulladékok hőtartalma, szintén befolyásolhatják a rendszer energiagazdálkodását, de ezekkel általában csak a rendszeren belüli energetikai vizsgálatokban foglalkozunk.

Energiapolitikai célokból gyakran megkülönböztetjük a hagyományos (fosszilis és nukleáris) és a megújuló energiákat, ezért ezeket külön csoportba gyűjtjük:

$$\begin{bmatrix} G \\ U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1 & g_2 & \ldots & g_n \\ u_1 & u_2 & \ldots & u_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ \ldots \\ E_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{g}^T \\ \mathbf{u}^T \end{bmatrix} \mathbf{E} \tag{7}$$

ahol g_i az i-ik energiahordozó fosszilis, u_i pedig a megújuló tartalma. Nyilván minden i-re:

$$g_i + u_i = e_i$$

Ebben a felosztásban használhatjuk az energiapolitikai célfüggvényt:

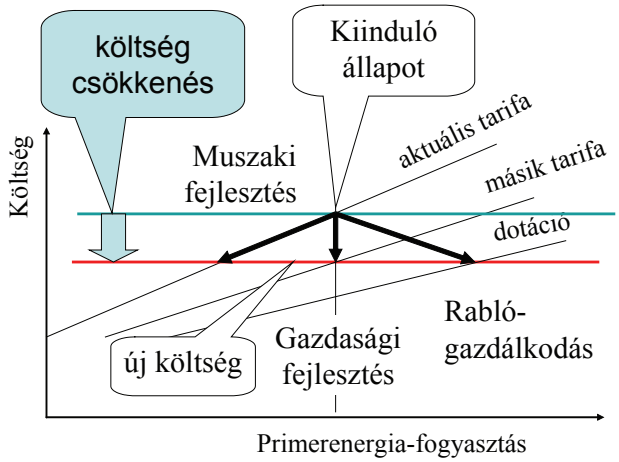
[3] A hatékonyságot azért nem választjuk célfüggvénynek, mert szeretnénk elkerülni annak lehetőségét, hogy a hatékonyság érdekében nem szükséges beruházásokat telepítsünk (pl. nem használt kerti medence fűtése a HMV termelés mellett, napenergiával)

$$C = \alpha G + \beta U \rightarrow \min \qquad (8)$$

ahol α és β súlytényezők.

Bizonyos esetekben, speciális vizsgálatokhoz további súlytényezőket rendelhetünk az egyes energiahordozókhoz. Így pl. a gyártási hulladékból nyerhető energiát, vagy a technológiák hulladékhőjét külön csoportba rendezhetjük, de gyakran ezeket is megújuló energiaként tárgyaljuk.

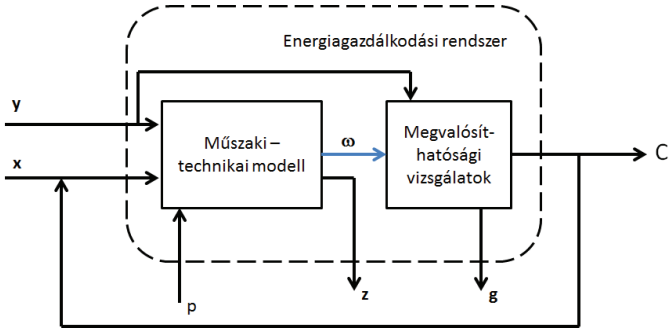
Ha a (6) egyenletben az **e** fajlagos primerenergia-tartalom helyett az energiahordozók fajlagos költségeinek $[a_1\ a_2, \ldots\ a_n]=\mathbf{a}^T$ rendezett vektorát helyettesítjük, megkapjuk a vállalat (fogyasztással arányos) energiaköltségeinek összegét. A vállalat a költségek, ezen belül az energiaköltségeknek is a csökkentésében érdekelt. Az energiaköltségek csökkenthetők az energiafogyasztás csökkentésével, vagy az energiahordozók árainak kedvezőbb megválasztásával (5. ábra). A kedvezőbb árak felkutatása és új szerződések kötése rendszerint csak átmeneti előnyt jelent, mert hosszabb távon az árak kiegyenlítődnek, az árelőny elapad. Az így elérhető előnyt a gazdálkodás szempontjából érdemes kihasználni, de csak addig, amíg az intézkedések hatására nem növekszik az energiafogyasztásunk. Ebben az esetben ugyanis az árelőny elmúltával ott marad egy energiafalóvá átalakított rendszerünk, ami nem csak a fenntarthatóság szempontjából kedvezőtlen, de piaci hátrányt is eredményez. Az energetikai fejlesztések általában sokkal rugalmatlanabbak, mint a technológiáé, megtérüléseik hosszú távúak, a rövid távú piaci változások követésére alkalmatlanok. Ezért is választjuk az energiagazdálkodás célfüggvényének a primerenergia-fogyasztást. Természetesen ennek az optimalizálási folyamatnak – a megvalósíthatóságon túl – elsődleges korlátozó feltétele a mindenkori piaci viszonyoknak megfelelő gazdaságosság. Összességében tehát el kell fogadnunk, hogy a vállalati energetikus, vagy a megbízott szakértő nem döntéshozó, csupán részese (kell, hogy legyen) a vállalatirányításnak, ahol számos egyéb célok és érdekek között ő a minimális energiafogyasztás szempontjait képviseli és igyekszik érvényre juttatni.



5. ábra. **Az energiaköltségek csökkentésének módjai**

Az energetikai fejlesztésekben nem kerülhetjük el az egyéb megvalósíthatósági vizsgálatokat sem. Ezek közül legfontosabbak a gazdasági vizsgálatok, hiszen ezek adják a célfüggvényünk legtöbb, a megvalósítást eleve meghiúsító korlátozó feltételeit, de egyre inkább felsorakoznak ezek mellé a környezetvédelem, ellátásbiztonság, vagy éppen a humánpolitika szempontjai is. Ezeket a korlátozó feltételeket külső, környezeti tényezőknek kell tekintenünk.

Mindezek ismeretében megfogalmazhatjuk az energiagazdálkodási modell (6. ábra) felépítését, ami segít bennünket az üzemeltetési és/vagy a fejlesztési feladatok stratégiai rendezésében.



6. ábra. **Energiagazdálkodási modell**

A modellezés alapja az a műszaki-technikai modell, amely lényegében a vizsgált rendszerünk energetikai viselkedését írja le és eredményül a célfüggvény értékét adja meg. A függvény értékét a független paraméterek határozzák meg, amelyeket három csoportba sorolhatunk.

p – a vizsgált rendszer feladatait leíró paraméter halmaza. Ilyenek pl.: hőigény, kívánt teljesítmény, kívánt nyomás, stb.

y – a környezetet leíró paraméterek, pl.: külső hőmérséklet, páratartalom, vízhálózat nyomása, stb., de ide tartoznak a gazdasági paraméterek egy része is, mint az árfolyamok, kamatszint, stb. Környezeti paraméternek tekinthetjük a korlátozó feltételeket is, mint pl. maximális megtérülési idő, minimális belső megtérülési ráta, vagy a kibocsátások határértékei. Az **y** paraméterek közös jellemzője, hogy tőlünk függetlenül időben változhatnak.

x – az ún. szabadon felvehető változók. Ezek azok a paraméterek, amelyeket bizonyos határok között tetszőlegesen vehetünk fel úgy, hogy felvett értékük mellett a feladat teljesíthető. Ilyenek lehetnek pl. tervezésnél a csővezetékek átmérője, a puffertartály mérete, szivattyú típusa, stb., vagy üzemeltetésnél a szelepállások, a beállított fordulatszámok, hőmérsékletek stb.

A műszaki technikai modellel állítjuk elő azokat az **ω** halmazba tartozó paramétereket, amelyek szükségesek a megvalósíthatóság vizsgálatához. Ha a megvalósíthatóságot valamelyik korlátozó feltétel megakadályozza, új **x** értékeket kell választani.

Egy megvalósítható **x** változókkal számított modell adja a *C* célfüggvény értékét. Azokkal a megvalósítható $\mathbf{x}_0$ paraméterekkel rendelkező modellt tekintjük optimálisnak, amelyekkel a *C* célfüggvény a minimális értéket veszi fel.

Lényeges, hogy csak akkor tudunk optimalizálni, ha van szabadon felvehető változónk, aminek legalább két szabadon felvehető értéke van.

A szabadon felvehető változó a modell jellegéből adódóan lehet egy-egy folytonos vagy diszkrét adatsor, de lehet olyan összetett pereméter is, mint *A változat, B változat,…stb.*

Megtakarítások és a bázisérték

Az energiagazdálkodási modellt legtöbbször az üzemeltetési stratégia megválasztásához és a fejlesztések tervezéséhez használjuk.

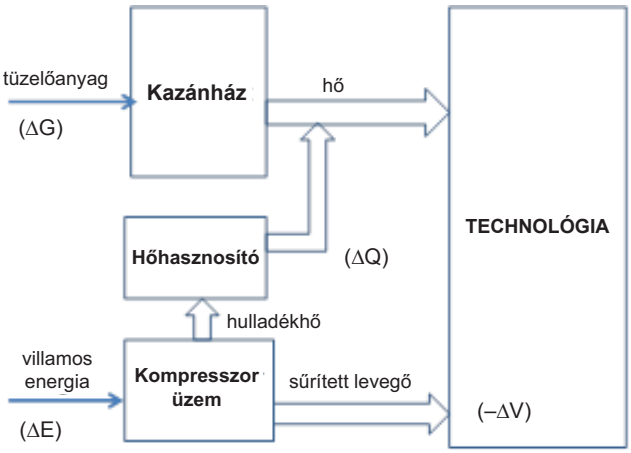
Ilyenkor elegendő a teljes primerenergia-fogyasztás helyett csak a várható megtakarítást vizsgálnunk, ahol viszont a maximumot keressük:

$$\Delta E_{pr} = E_0 - E \rightarrow \max \qquad (9)$$

Az E az energiafogyasztásunk várható értéke a fejlesztés vagy beavatkozás után, E_0 pedig az energiafogyasztás várható értéke ugyanebben az időpontban akkor, ha nem avatkozunk be a rendszerbe. E_0 értékét *bázisértéknek* vagy *bázisnak* nevezzük és trendszámítással vagy korrelációszámítással, tervezésnél gyakran fajlagosok alapján tudjuk meghatározni. Ha nincs E_0 értékünk – pl. új létesítmény tervezésénél – referenciaértékekhez hasonlíthatunk.

Ahol lehetséges, azért érdemes a megtakarítást választani célfüggvénynek, mert így elegendő azokat az energiafogyasztásokat figyelembe venni, amelyeket a beavatkozás érint, és nem szükséges a teljes fogyasztást kiszámolni.

Nagyon lényeges, hogy az energiafogyasztásokat, illetve azok megváltozását **mindig a vizsgált rendszer határán lévő elszámolási mérőkön kell mérni,** még akkor is, ha a változás a rendszernek csak valamilyen kisebb, belső elemén történik.



7. ábra. **Energia megtakarítás összetett rendszerben**

A 7. ábra egy olyan rendszer sémáját mutatja, amelyben a technológiát kazánüzemből hővel és a kompresszorállomásról sűrített levegővel szolgálnak ki. A hőszolgáltatásba besegít a kompresszorok hőjét hasznosító blokk is. Tételezzük fel, hogy a technológiában sűrített levegő igényt takarítunk meg. A rendszer energia megtakarításának számításához ennek hatását végig kell vezetnünk a teljes rendszeren, hogy meg tudjuk határozni a villamosenergia-fogyasztás csökkenését és ezzel egyidejűleg a tüzelőanyag fogyasztás növekedését. A megtakarítás, ha a változások abszolút értékével számolunk:

$$\Delta E_{pr}(\Delta V) = e_{vill}\Delta E - e_{ta}\Delta G$$

ahol e_{vill} a villamos energia és e_{ta} a tüzelőanyag primerenergia-tartalma.

A megtakarítások számításánál nagyon fontos, hogy az összehasonlításra kerülő változatokban ugyanaz a fogyasztói igény szerepeljen. Ha pl. a korábban említett gázmotoros kapcsolt energiatermelést szeretnénk összehasonlítani a nem kapcsoltan termelő rendszerrel, akkor mindkét változatnál ugyanazt az E villamos energia és Q hőigényt kielégítő rendszert kell vizsgálnunk. A nem kapcsolt rendszer összes primerenergia-fogyasztása:

$$E_{pr} = e_{vill}E + e_{ta}\frac{Q}{\eta_Q}$$

a kapcsolt rendszeré pedig:

$$E_{pr} = e_g\frac{E+Q}{\eta_m}$$

A megtakarítás a két érték különbsége:

$$\Delta E_{pr} = \left(e_{vill} - \frac{e_g}{\eta_m}\right)E + \left(\frac{e_{ta}}{\eta_Q} - \frac{e_g}{\eta_m}\right)Q$$

ahol e_{vill} a villamosenergia-termelés, e_g a gázmotor tüzelőanyaga és e_{ta} a referencia tüzelőanyag primerenergia-tartalma, η_Q és η_m pedig a referencia hőtermelő, ill. a gázmotor mennyiségi hatásfoka.

Előfordulhat, hogy a tényleges fogyasztás nem áll közvetlen kapcsolatban a primerenergia-fogyasztással. Termálvíz energetikai célú hasznosításakor pl. $E_{pr} = \dot{V}\rho c t_1$ a kitermelt primer energia függetlenül attól, hogy ebből mennyit hasznosítunk. A hasznosítás hatásfoka:

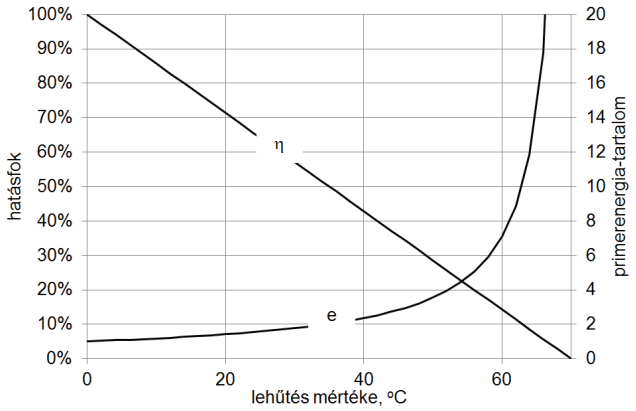
$$\eta_{TV} = \frac{\dot{Q}_h}{\dot{V}\rho c t_1} \approx \frac{t_1 - t_2}{t_1}$$

ahol $\dot{Q}_h$ a hasznosított hő, $\dot{V}\rho c$ a termálvíz hőkapacitás-árama, t_1 a kitermelt és t_2 a hasznosítás utáni (lehűlt) termálvíz hőmérséklete. A hasznosított hőáram primerenergia-tartalma:

$$e = \frac{1}{\eta_{TV}} + e_{vill}\frac{P_S}{\dot{Q}_h}$$

ahol P_S a segédenergia-áram.

A 8. ábra egy 70 °C hőmérsékletű termálvíz hőhasznosításának a hatásfokát és fajlagos primerenergia-tartalmát mutatja állandó segédenergia-igény mellett a lehűtés mértékének függvényében. Jól látható, hogy a hatásfok a lehűtés mértékének a növelésével lineárisan nő, a primerenergia-tartalom viszont hiperbolikusan csökken, de még 35 °C-ra történő lehűtés esetén is a ténylegesen szükségesnél kétszer több hőt kell kitermelnünk.



8. ábra. **70 °C-os termálvíz hasznosításának paraméterei**

Hasonlóan vehetjük figyelembe a hulladék anyagok vagy a hulladék energiák hasznosításának értékelését is. Ezek azok az energiafajták, amelyeket nem veszünk figyelembe a belépő ener-

giaáramok között, mintegy forrásként jelentkeznek, ellentétben a veszteségáramokkal, mint pl. a füstgázveszteség vagy a villamos berendezések hőveszteségei, amelyek a nem tökéletes hasznosítás eredményeként távoznak a rendszerből. A hulladék energia a technológiából kikerülő energia potenciál, aminek kisebb-nagyobb részét tudjuk hasznosítani. Így pl. az éghető, és elégetésre felhasználható B mennyiségű H fűtőértékű hulladék energiapotenciálja:

$$E_p = BH, \tag{10}$$

ha ebből B_1 mennyiséget hasznosítunk, a hasznosítás hatásfoka:

$$\eta = \frac{B_1}{B} \tag{11}$$

és az elégetéssel szolgáltatott hasznos hő fajlagos fogyasztása, amit a fajlagos primerenergia-fogyasztással analóg értelmezhetünk:

$$e_{hull} = \frac{1}{B_1\eta_k}\left(B + e_S\frac{E_S}{H}\right) = \frac{1}{\eta\eta_k}\left(1 + e_S\frac{E_S}{BH}\right) \tag{12}$$

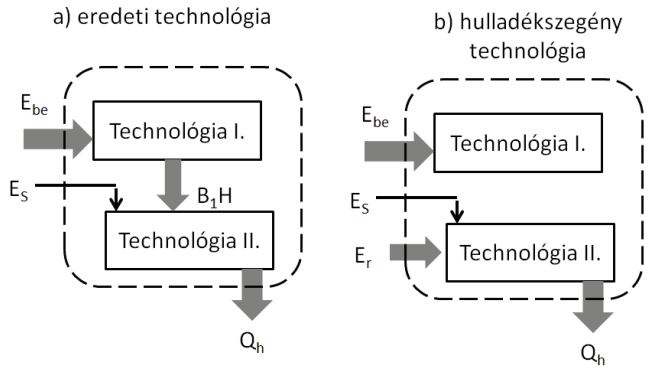
ahol η_k a hőhasznosító kazán hatásfoka, E_S a segédenergia-igény, e_S pedig a segédenergia primerenergia-tartalma.

Látható, hogy a hulladékenergia-hasznosítása a termelési/tecnológiai viszonyoktól is függ, ezért időben is, potenciálban is erősen változó lehet.

Ha egy hulladékhasznosítással rendelkező technológiáról áttérünk egy hulladékszegény technológiára, a megtakarítások számításánál az elmaradó energiaforrás hatását is figyelembe kell venni (9. ábra). Az ábra jelöléseivel:

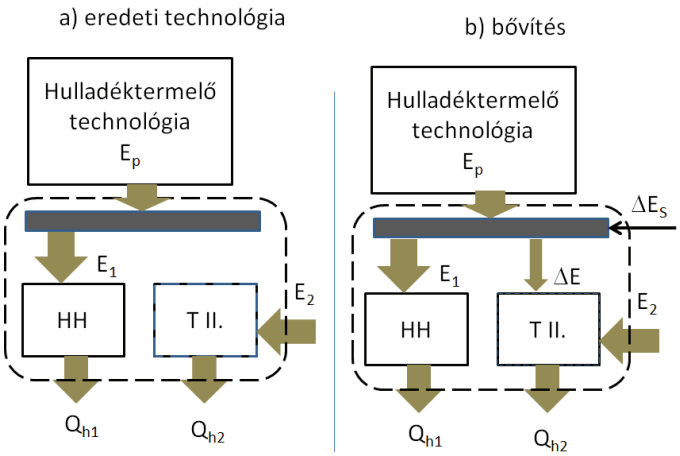
$$\Delta\mathbf{E} = \mathbf{E}_{be}^{(0)} + \mathbf{E}_S^{(0)} - \mathbf{E}_{be} - \mathbf{E}_S - \mathbf{E}_r$$

ahol a felső indexbe írt $^{(0)}$-lal jelöltük a bázisértékeket. A technológiaváltás nem mindig jár primerenergia-megtakarítással, ezt a többszempontú döntésnél figyelembe kell venni.



9. ábra. **Áttérés hulladékszegény technológiára**

Könnyen belátható, hogy az olyan rendszerekben, ahol az energiapotenciál a fogyasztástól függetlenül a rendelkezésünkre áll, a fogyasztói rendszerben történő energia-megtakarítás nem csökkenti a célfüggvény értékét, hiszen nem eredményez közvetlen primerenergia-megtakarítást. Megtakarítást csak úgy érhetünk el, ha a fogyasztói rendszer igényének csökkenése helyébe új fogyasztót tudunk beállítani. A 10. ábra olyan fejlesztési sémát mutat, amelyben az eredeti hulladékhasznosítás mellett, bővítéssel a *T II.* technológiát is bevontuk a hasznosításba, amit a rendelkezésre álló E_p kapacitás tett lehetővé.



10. ábra. **A primerenergia-fogyasztás csökkentése bővítéssel**

A hasznosítás hatásfoka E_1 / E_p-ről $(E_1+\Delta E) / E_p$-re nőtt.

Az eredeti primerenergia-felhasználás E_p hulladék és e_2E_2 foszszilis energia volt, ez a hulladékenergia felhasználásának növelése miatt csökkent. A megtakarítás, ha a fogyasztói hőigények nem változnak:

$$\Delta E_{pr} = e_2\Delta E\frac{\eta_{hh}}{\eta_k} - e_S\Delta E_S$$

ahol η_k a *T II.* technológia hőtermelésének, és η_{hh} a hulladékégetés átlagos hatásfoka.

Az E_p rendelkezésre álló hulladékenergia nem változik.

A hulladékhasznosítás hatásfokának növelése valóban primerenergia-megtakarítást eredményezett.

Ha nincs olyan fogyasztó, amit be lehet vonni a hulladékhasznosításba, akkor csak a hulladéktermelés technológiájának változtatása eredményezhet primer energiában megtakarítást.

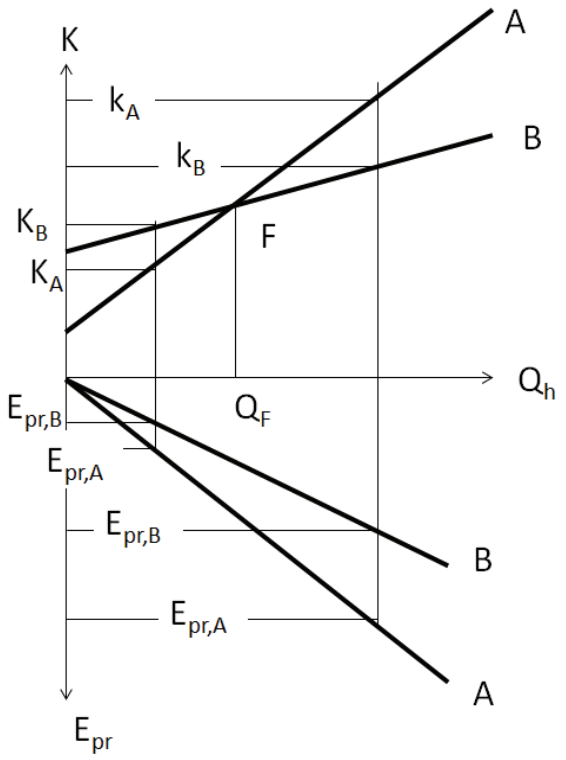
A primerenergia-fogyasztáshoz hasonlóan számíthatjuk ki a rendszer fogyasztással arányos energiaköltségeit is, ha az $\mathbf{e}^T$ vektor helyére a fajlagos energiaárakat írjuk:

$$K = a_1E_1 + a_2E_2 + \ldots + a_nE_n - a_hQ_0 = \mathbf{a}^T\mathbf{E} \tag{13}$$

ahol a_1, a_2, …a_n, a_h az egyes energiahordozók egységárai. Ha egy energiahordozó fogyasztását csökkenteni tudjuk, az nyilvánvaló, hogy a primerenergia-fogyasztásban és a költségben is csökkenést jelent. Nem ilyen szoros az összefüggés, ha a rendszeren belül olyan változás következik be, aminek hatására egyes energiahordozók fogyasztása csökken, másoké pedig nő. Előfordulhat, hogy a primerenergia-fogyasztás csökkenése mellett a költség növekszik, vagy fordítva. hiszen a (6) és (12) egyenlet együtthatói – mint súlytényezők – arányaiban jelentősen eltérhetnek egymástól.

A költségoptimum és az energetikai optimum eltérő iránya függhet az éves fogyasztott energiamennyiségtől is. A 11. ábra egy olyan fogyasztó energiaköltségét (K) és primerenergia-fogyasztását (E_{pr}) mutatja be a hasznos hőfogyasztás függvényében, amelyet *A* vagy *B* energiahordozóval kívánunk táplálni. A költségeknél az állandó költségeket (teljesítménydíj, készenléti díj stb.) is figyelembe vettük. Jól látható, hogy az *F* ponthoz tartozó Q_F fogyasztásig a kisebb

költségű *A* energiahordozóhoz nagyobb primerenergia-fogyasztás tartozik, és csak a Q_h hőigény felett mutat azonos tendenciát a költség- és az energetikai optimum.



11. ábra. **Energiaköltség és primerenergia-felhasználás a hasznos hő függvényében**

Nagy nemzetközi vagy országos hálózatoknál a fajlagos primerenergia-tartalom egy energiastatisztikai adatként kezelhető, aminek értéke független az egyes fogyasztók (egyedi) viselkedésétől. Kisebb, néhány fogyasztóból álló hálózatoknál azonban az egyes fogyasztók fajlagos primerenergia-fogyasztása a hálózat többi fogyasztójának a viselkedésétől is függhet. Ez egyrészt abból adódik, hogy az elosztórendszer veszteségei és a hálózat segédenergia-fogyasztása nem változik arányosan a fogyasztásokkal, másrészt abból, hogy különböző terheléseken az energiaszolgáltatás hatásfoka is változik. Előfordulhat, hogy egy jelentős fogyasztó kiesése (kiválása) miatt a szolgáltató kénytelen alacsony terhelésen, nagyon rossz hatásfokkal termelni, azaz a primerenergia-fogyasztás a hasznos energia csökkenésénél lényegesen kisebb arányban csökken, azaz a fajlagos érték túlzottan megnő.

A primerenergia-fogyasztással arányosan változik a szolgáltató költsége is, amit igyekszik áthárítani a fogyasztókra. Ez a jelenség tapasztalható néhány távhő szolgáltatónál, amikor a fogyasztók tömegesen energiacsökkentő fejlesztéseket hajtanak végre.

Az energiagazdálkodási modellben az optimalizálás lényegében a célfüggvény **x** változó szerinti szélsőértékének a keresését jelenti. Ez a (6) vagy (8) felírási módnál minimum, a (9)-ben maximum keresését jelenti. Egyes esetekben a célfüggvény folytonos, sok esetben diszkrét, de a szabadon felvehető változók halmaza mindig korlátos, és reális esetekben legalább egy minimumnak, illetve egy maximumnak léteznie kell.

Ha csak néhány szóba jöhető változatunk van, a szélső értéket a változatok mindegyikének kiszámításával kereshetjük, illetve a tendenciákat figyelembe véve néhány változatot eleve kizárhatunk.

Folytonos (vagy folytonosnak tekinthető) célfüggvényre különböző matematikai módszerek állnak rendelkezésre [3], ezek nagy részére ma már kész matematikai szoftvereket használhatunk.

Nagyon sok szabadon felvehető változó esetére újabban az ún. fuzzy logic modelleket használják [4], amelyekkel reális mennyiségű számítással (gépidővel) tudjuk megközelíteni az optimális (vagy ahhoz közeli) megoldást.

Az energiagazdálkodási modell mindig egy jól definiálható rendszerhatárral rendelkezik, ahol az energiafogyasztást a rendszerhatáron kell értelmeznünk, ott viszont, az energiahordozó-fogyasztások egymásra hatása miatt, valamennyi energiahordozót együttesen kell vizsgálnunk. A rendszerek azonban általában összekapcsolódnak, ezért lehetséges, hogy egy-egy rendszer optimális beállítása az összekapcsolt rendszer további tagjai is befolyásolják. Másrészt: egy-egy bonyolultabb rendszert részrendszerekre bonthatunk, ahol a részrendszerekre különálló modelleket készíthetünk, de a részrendszerek optimális paramétereit az összetett rendszer optimuma határozza meg. Az ilyen esetekre alkalmas optimalizáló módszert az operációkutatásban *dinamikus programozásnak* nevezik [5]. A dinamikus programozás lényege, hogy a részrendszerek független változóit két részre osztja: a többi részrendszerrel kapcsolatban állókra és az azokat nem érintőekre. Ez utóbbiakra elvégzi az optimalizálást a másik paraméterhalmaz valamennyi értéke mellett. Így kap egy, a többi részrendszer adataitól függő *optimum függvényt* (paraméteres optimumot), amelynek tényleges értékét az egész rendszerre elvégzett optimalizálás határozza meg. Az egész rendszer optimalizálásánál már elég csak az optimum-függvényekkel dolgozni, hiszen az azokhoz tartozó részrendszer-paraméterek már ismertek.

Ilyen paraméteres optimum-függvényekkel gyakran jelentősen leegyszerűsíthetjük az összetett rendszerek modelljét.

Összefoglalás

Ebben a cikkben az energiagazdálkodás célfüggvényének a primerenergia-fogyasztást tekintjük, aminek minimalizálására törekszünk. A primerenergia-fogyasztást az energiahordozók fajlagos primerenergia-tartalmával számítjuk, amiket olyan fizikai paraméternek tekintünk, amelyeket a célfüggvényben különböző súlyokkal szerepeltethetünk.

A megújuló energiák is primer energiák, ezért azokat is szerepeltetni kell a célfüggvényben.

Vállalati energiagazdálkodásban a primerenergia-fogyasztást mindig az átvételi mérőkön leolvasott fogyasztási adatokból számítjuk.

Irodalomjegyzék

[1] Büki G. – Metzing J. – Orbán T.: Településenergetika, távhőellátás távhűtés = MMK Energetikai Szakkönyvek, MMK. Budapest 2014.

[2] Balikó S.: Vállalati szintű energiagazdálkodás. Kézirat – Bp. 2014. www.omikk.hu/

[3] A.I. Bojarinov – V.V. Kafarov: Optimalizálás a vegyiparban = Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1973.

[4] Csík Á. – Csoknyai T. – Botzheim J.: ENERGOOPT – Épületenergetikai optimalizáció és lehetséges alkalmazásai I – III. = Magyar Épületgépészet, LKII. évf. 2013/11, LXIII. évf.2014/1-2 és 2014/3. sz.

[5] A. Kaufmann: Az operációkutatás módszerei és modelljei = Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1968.

A VVER-1200 gőzfejlesztők megbízhatósága

Ősz János
okl. gépészmérnök, osz@energia.bme.hu

A hazai szakemberek többsége egyetért azzal, hogy a magyar villamosenergia-termelés elért CO_2-kibocsátásához, jövőbeli további mérsékléséhez a ~40% részarányú karbon-mentes nukleáris villamos energia elengedhetetlen, mert a megújuló energiaforrásoknak nincs akkora hazai potenciálja és rendelkezésre állása, amely biztonságos villamosenergia-ellátást eredményezne – a ma ismert technológiákkal. A nyomottvizes atomerőművek egyik kulcsberendezése a radioaktív primer és az inaktív szekunderkört elválasztó gőzfejlesztő. 1993 óta ismert a gőzfejlesztők harmóniaelve [THERNUCLECHIM], ami rögzítette, hogy a gőzfejlesztők elvárt megbízhatósága a konstrukció, a szerkezeti anyagok és a vízkémia harmonikus egységével biztosítható. Az alábbi cikk a harmóniaelvvel és alkalmazásával foglalkozik.

*

The majority of Hungarian energy experts agree that to ensure and further reduce the current level of CO_2 emissions in Hungarian power generation it is indispensible to have an approx. 40% share of carbon free nuclear energy. Renewables in Hungary have no such potential and availability that could guarantee the security of power supply using the existing technologies. One of the key equipment in pressurized water nuclear plants is the steam generator separating the radioactive primary and the inactive secondary loops. The principle of harmony for steam generators [THERNUCLECHIM] has been known since 1993, establishing that the expected reliability of steam generators can be ensured through the harmonious unity of construction, structural materials and water chemistry. The following paper discusses this principle and its application.

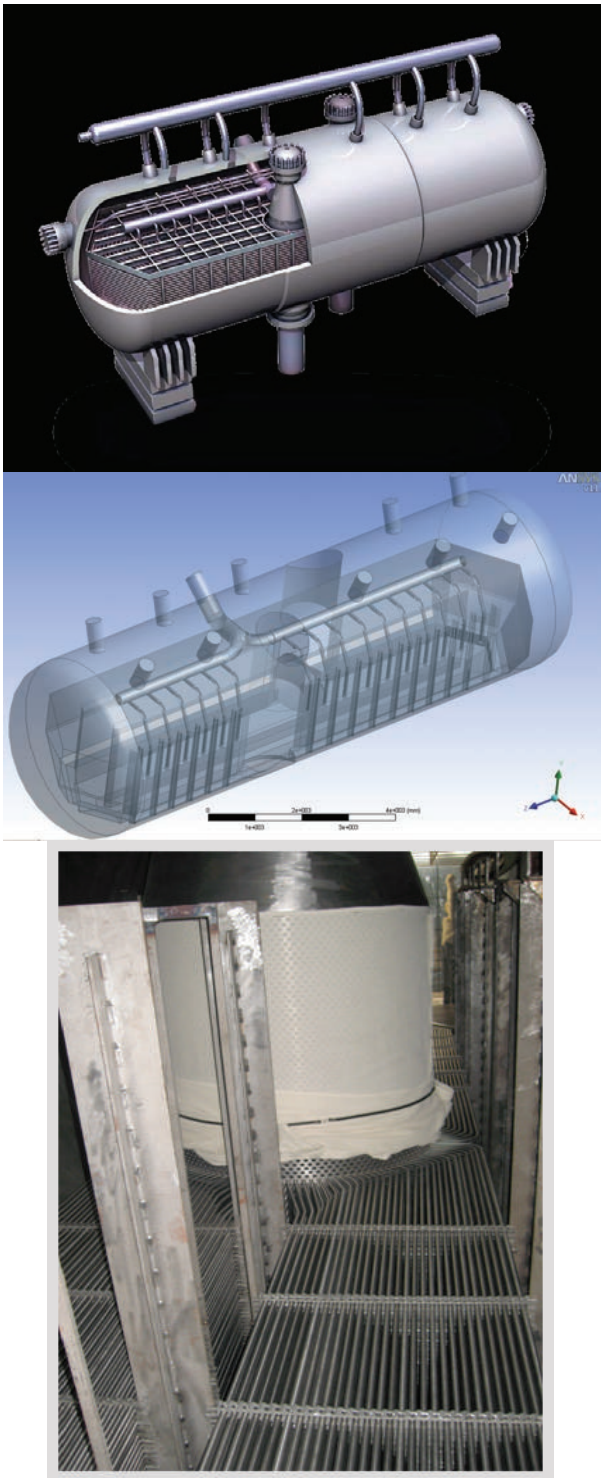
* * *

A harmóniaelvet a fejlett országok szakemberei alkották meg a PWR álló gőzfejlesztők addig felhalmozódott üzemi problémáinak szisztematikus feldolgozásával. A VVER gőzfejlesztők e szisztematikus feldolgozása eddig nem történt meg, ezért nem is alkalmazzák a harmóniaelvet gőzfejlesztőikre. A harmóniaelvet eredményesen alkalmaztuk a paksi VVER-440 blokkok primer és szekunderköri vízüzemének módosításánál, a teljesítménynövelés és a 15 hónapos teljesítményüzem vízüzemének tervezésénél.

A vízüzem – definícióm szerint – a konstrukció, a szerkezeti anyagok és a vízgőz kémiájának harmonikus egysége nem csak a gőzfejlesztőkben, hanem a gőzerőmű (szekunderkör) minden berendezésében és a gőzerőmű egészében.

- A konstrukció megszabja a berendezésekben lejátszódó áramlási, hő- és anyagátviteli folyamatokat, ezek lokális egyenlőtlenségeit;
- A szerkezeti anyag megszabja a fémfelület/ek/ általános korróziójának minimális sebességét és a lokális károsodási folyamatokra való érzékenységét;
- A vízkémia a szerkezeti anyag és víz érintkezésével befolyásolja a szerkezeti anyag/ok/ általános korrózióját, a korróziótermékek vízbe kerülését, valamint a szerkezeti anyagot károsító lokális korróziós környezet kialakulását.

A VVER-1200 blokk szekunderköri vízüzemének feladata a 60 év élettartamú gőzfejlesztők elvárt megbízhatóságának, a gőzturbina és berendezései tervezett elhasználódásának biztosítása. A tervezett elhasználódás azt jelenti, hogy az összes berendezés 30 év után cserélhető – a gőzfejlesztők (és a gőzturbina ház, rotor) kivételével.



1. ábra. **VVER-1000 (VVER-1200) gőzfejlesztő [Roszatom]**

A VVER-1000 gőzfejlesztők – közel 35 éves orosz és nemzetközi tapasztalat alapján – nem felelnek meg a harmóniaelvnek, így a

1. táblázat. A VVER-1200 blokk névleges adatai

Jellemzők	Mérték-egység	VVER-1200	VVER-440
Hurkok (gőzfejlesztők) száma	db	4	6
Fővízköri hőhordozó térfogatárama	m^3/h	86 000	41 000
	m^3/s	23,889	11,389
tömegárama	kg/s	17 466	8928
A reaktorba lépő hőmérséklete	°C	298	266
A reaktorból kilépő hőmérséklete	°C	328,9	298,3
A hőhordozó nyomása (p)	bar	162	125
Számított hőteljesítmény	MWth	3200	1500
A gőz tömegárama	t/h	6408	2930
	kg/s	1780	813,9
A kilépő gőz nyomása	bar	70	47
telítési hőmérséklete	°C	285,8	260,1
gőztartalma		> 0,995	> 0,995
A belépő tápvíz hőmérséklete	°C	225	221
nyomása	bar	90	70

2. táblázat. A VVER-1200 és VVER-440 gőzfejlesztő névleges és konstrukciós adatai

Jellemzők	Mérték-egység	VVER-1200	VVER-440
A hőhordozó tömegárama	kg/s	4367	1488
A munkaközeg tömegárama	kg/s	445	135,6
A gőzfejlesztő hőteljesítménye	MW_{th}	800	250
Névleges (köpenytéri) hőátadó felület	m^2	6105	2510
Hőátadó cső $d_k$xs	mm	16×1,5	16×1,4
A hőátadó csövek száma	db	10978	5536
1 m hosszú csőköteg felülete	m^2/m	551,5	278,1
Átlagos csőhossz	m	11,069	9,025
Kollektor belső átmérő	mm	1176	800
Kollektor/csövek áramlási keresztmetszet	m^2	1,086/ 1,456	0,502/ 0,757
A hőhordozó sebessége kollektorban/csövekben	m/s	5,50/4,10	3,78/2,51
Köpenytéri térfogat az üzemi vízszintig	m^3	42	40
Csőtéri térfogat (két kollektorral együtt)	m^3	25	11
A tápvíz-előmelegítés hőteljesítménye	MW_{th}	133	25
A gőzfejlesztés hőteljesítménye	MW_{th}	667	225
Termelt gőz tömegárama	kg/s	532	150
Ebből tápvíz-előmelegítésre (részarány)	kg/s (%)	89 (16,6)	15 (10,1)
gőzturbinába	kg/s	443	135
A gőzfejlesztés Δt_{ln}	°C	24,48	17,29
Átlagos hőátviteli tényező	kW/m^2K	5,35	5,75
A termelt gőz térfogatárama	m^3/s	14,56	6,42
Tartózkodási idő a kétfázisú térben	s	2,9	6,2
Számított átlagos gőztartalom cirkulációs szám		0,35 2,8	0,16 6
VVER-1000 cirkulációs szám [Margulova]		1,9-1,5	6-5

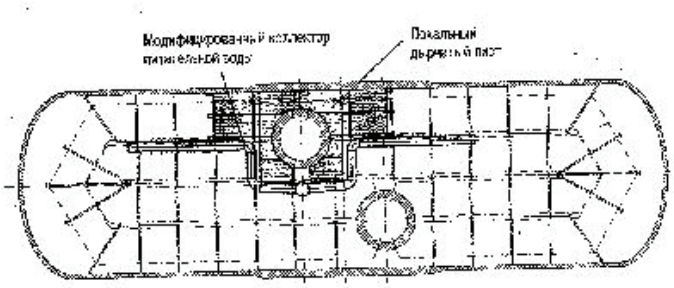
VVER-1200 gőzfejlesztők sem. Ezért a hazai nukleáris szakmának kell megfogalmazni azokat tervezési követelményeket az orosz tervezők felé, amelyekkel e gőzfejlesztők megbízhatósága közelíthető a PWR álló gőzfejlesztők megbízhatóságához. E cikk megfogalmazza e – a hazánkban is alig ismert – követelményeket.

Gőzfejlesztők

Az egy blokkhoz (1. táblázat) tartozó négy PGV-1000MPK (VVER-1200) gőzfejlesztő (1. ábra) névleges adatait – a Paks II-vel hasonló V-491 (AES-1200) Leningrád NPP-2 adatai alapján [1] – összehasonlítjuk a paksi, 108% hőteljesítményű, VVER-440 gőzfejlesztők adataival (2. táblázat).

Hő- és anyagátvitel

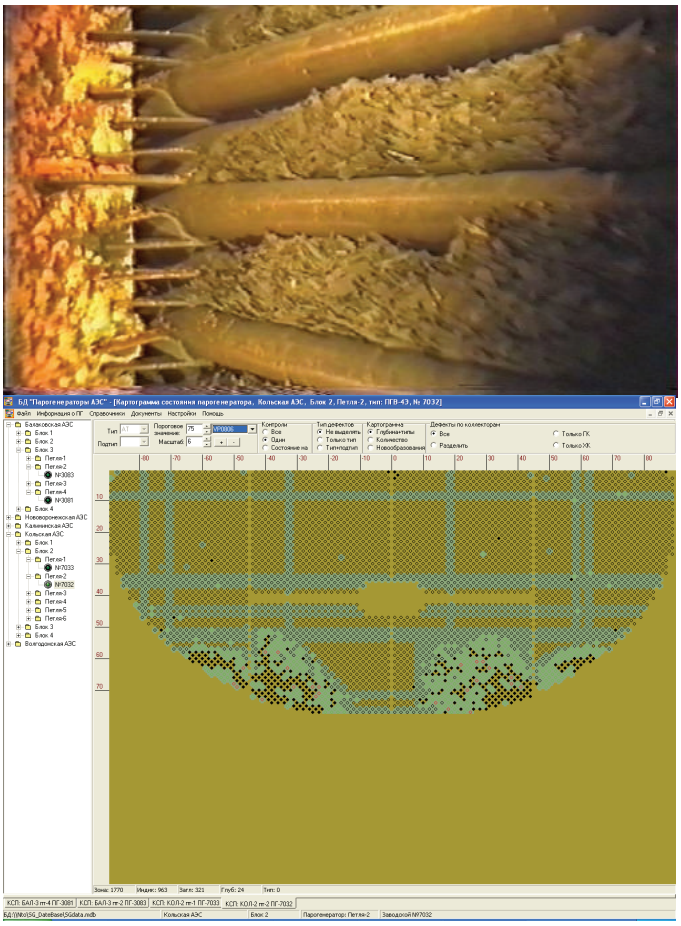
A gőzfejlesztő csőterében áramló primerköri (fővízköri) hőhordozó lehűl, miközben a hőátadó csövek köpenytéri felülete elgőzölögteti a gőzfejlesztő vizet, azaz a víz buborékos forrása történik nagy térfogatban. A gőzképződés a vízszintes hőátadó csövek mentén nagyon egyenlőtlen: a hőhordozó belépésnél maximális, illetve a kilépésnél minimális a hőátadó cső fala és vízgőz telítési hőmérséklete közti csökkenő hőmérsékletkülönbség ($\Delta t = t_{fk} - t_s$) miatt. A gőzfejlesztés egyenlőtlenségének részbeni kiegyenlítésére, a kétfázisú víztérből kilépő gőz tömegáramának mérséklésére perforált lemezt építettek be a VVER-1000 gőzfejlesztők meleg kollektorának környezetébe, mindkét irányban az 1-2. kamra fölé (2. ábra).



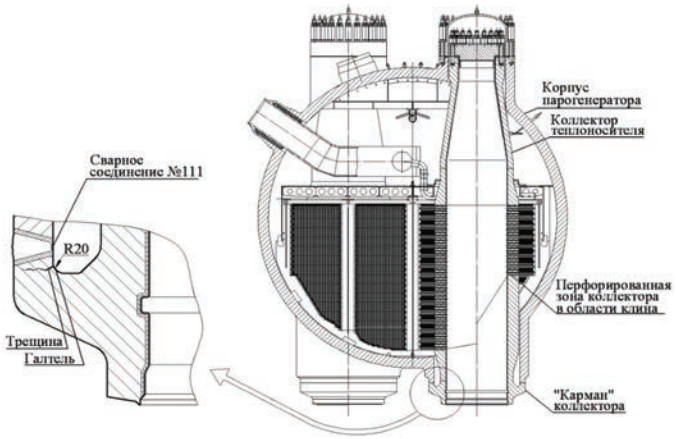
2. ábra. **Perforált lemez a meleg kollektor környezetében [Trunov]**

A konstrukció alapvető hibája a 35% átlagos gőztartalom a köpenytér – VVER-440-el közel azonos – kétfázisú térfogatában. A VVER-440 gőzfejlesztőhöz képest kisebb az átlagos hőátviteli tényezője, nagyobb a hőátvitel átlagos logaritmikus hőmérsékletkülönbsége, és e két jellemző eredőjeként 2,43-szor nagyobb a hőátadó felülete. A nagyon intenzív buborékos forrás generálja az 1,0 közeli gőztartalmat a meleg oldali csőköteg belépő oldalán, ezért a folyadékfázis növelése érdekében ide, a tápvíz-előmelegítő zónába vezetik be a belépő, korrózió- és eróziótermék részecskéket is tartalmazó tápvizet, miközben a lerakódás a telítésinél kisebb hőmérsékletű, alahűtött víz forrásánál a legnagyobb.

A tápvíz felmelegítéséhez szükséges gőz 5,3-szor nagyobb a VVER-1200 gőzfejlesztőben, mint a 108% hőteljesítményű VVER-440-ben. Az intenzív gőzképződés és a részecskék jelenléte együtt eredményezi a korrózió és eróziótermék részecskék lerakódását, felhalmozódását a meleg oldali csőkötegben. Az üzemelő VVER-1000 orosz gőzfejlesztők jellemző köpenytéri állapotát 5-10 üzemév után a 3. ábra szemlélteti. A szekunderköri felületekről a tápvízzel behordott korrózió- és eróziótermék részecskék a csőköteg nagy hőáram-sűrűségű, gőzképződésű helyein, főleg a tápvíz-bevezetés



3. ábra. **VVER-1000 gőzfejlesztők alsó csőkötegében lerakódott diszperz korróziótermékek képe (felső ábra) és kritikus zónája a meleg oldali csőkötegben, a hőhordozó belépés környezetében [Trunov]**



4. ábra. **VVER-1000 gőzfejlesztő No111 varrat környezete [Hodakov]**

5. ábra. **Gőzfejlesztő féledénytest [Hodakov]**

környezetében, a perforált lemez alatt felhalmozódnak, összeállnak, lerakódnak.

A részecskék ilyen jellegű felhalmozódását – a behordás mellett – a gőzfejlesztő hő és anyagátvitele (konstrukciója) okozza, és ezek a lerakódások csökkentik a gőzfejlesztő hőteljesítményét, valamint kémiai tisztítással is nehezen eltávolíthatók. Ez az alapvető oka, hogy a VVER-1000 blokkok általában a névlegesnél kisebb villamos teljesítménnyel üzemelnek szinte mindenhol.

Konstrukció

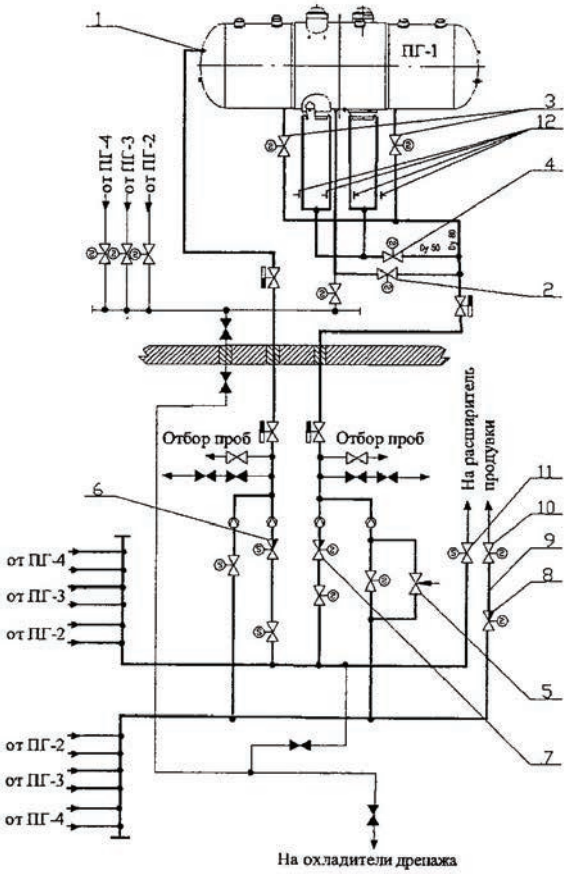
Az orosz szakemberek közel 30 éve ismerik a VVER-1000 gőzfejlesztők konstrukciós hibáit, hiszen az alábbi hibák jelen vannak a szakirodalmukban is.

1.) A kollektor és a köpeny körüli gyűrűből (4. ábra) alig távolíthatók el a korrózió- és eróziótermék részecskék, felhalmozódásuk a kollektor és a N°111 hegesztési varrat repedését, illetve ismétlődő javítását eredményezheti. A probléma megoldásának keresését illusztrálja – a reaktortartály csonkjaihoz hasonló – edénytesttel együtt kiöntött kollektor darabok (5. ábra) koncepciója, amelyek megszüntetnék a köpeny és a kollektorok közötti rést.

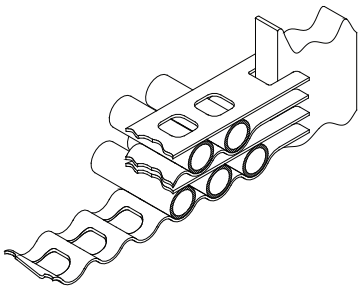
A VVER gőzfejlesztők két kollektorának valamint a kollektor köpeny kapcsolat repedésének ma már nagyobb a kockázata, mint a hőátadó csövek feszültségkorróziós repedésének. Hatása az élettartamra viszont lényegesen kedvezőtlenebb, különösen a jövő várhatóan nagyobb és gyakoribb teljesítményváltoztatás sebességeinél ($\Delta P/\Delta t$), hiszen a hőátadó csövek 5-10%-a dugózható, míg a kollektor, köpeny repedése – néhány javítás után – gőzfejlesztő cserével jár. Az összes üzemelő VVER-440 gőzfejlesztő tápvíz-elosztóját a meleg oldali csőkötegből a csőköteg fölé építették át, megszüntetve a diszperz korróziótermékek lerakódását a meleg oldali hőátadó csöveken, megváltoztatva ezzel a kétfázisú vízgőz eredeti – a meleg oldali csőkötegbe bevezetett tápvíz-elosztó kollektornál kialakult – köpenytéri cirkulációját. A VVER-1000 gőzfejlesztők megismétlik a tápvíz VVER-440 meleg oldali csőkötegbe való bevezetésének hibáját? A temelini VVER-1000 gőzfejlesztőknél 2010-ben már elemezték a tápvíz-elosztót, a két kollektor eltömődésének okait, a köpeny hőmérséklet-eloszlását, és az általuk létrehozott CFD modellel számos további elemzést terveztek a jövőben végezni [Junek]. Jó lenne tudni milyen következtetéseket vontak le az elemzéseikből.

2.) A VVER-1000 gőzfejlesztők korrózió- és eróziótermékeket eltávolító periodikus leiszapolása nem hatékony, mert egyrészt nem ismerjük a felhalmozódási helyeket, másrészt nincs elegendő tömegű, az összegyűlő részecskéket eltávolítani képes folyadékfázisú víz a felhalmozódó lerakódások környezetében. Megállapításomat alátámasztja, hogy szinte minden VVER-1000 (és VVER-440) atomerőműben eltérő a gőzfejlesztők leiszapolási stratégiája. Ugyanakkor az oldott ionokat eltávolító folyamatos leiszapolás a VVER-1000 gőzfejlesztőknél ma már hatékony, mert az elvétel a kísérletileg meghatározott maximális ionkoncentrációjú helyről történik (6. ábra).

E konstrukciós hibák – legalább részleges – kiküszöbölése ma elképzelhetetlen a gőzfejlesztők köpenytéri áramlási képének ismerete nélkül. Az orosz tervezők – tudomásom szerint – eddig nem



6. ábra. **A VVER-1000 gőzfejlesztő „korszerűsített" leiszapolása [Lukaszevics]**



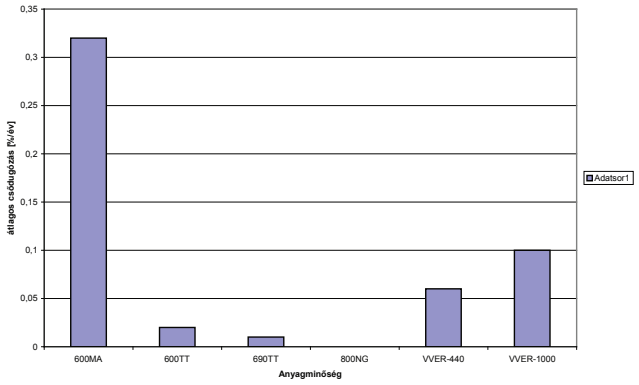
7. ábra. **A hőátadó csövek megfogása az új VVER-1000 gőzfejlesztőkben [Trunov]**

készítették el a VVER-1200 gőzfejlesztő CFD háromdimenziós multimédiás áramlási modelljét, ezért ezt a hazai szakembereknek kell elkészíteni – segítve az orosz tervezőket a jobb konstrukció kialakításában. Az áramlási képpel megismerhető lenne többek között

- a gőzfejlesztő hő és áramlási egyenlőtlenségei, ezek mérséklési lehetőségei,
- a konstrukciós változtatások (pl. tápvíz-elosztó helye, perforációja) hatásának elemzése, a legkedvezőbb köpenytéri cirkuláció megvalósításának keresése,
- a korrózió és eróziótermék részecskék felhalmozódási helyeinek megismerésével a periodikus leiszapolás hatékony elvételi helyei meghatározhatók lennének.

A hazai szakemberek részben rendelkeznek ezzel a tudással, hiszen 2007-ben elkészítették a paksi VVER-440 gőzfejlesztő áramlási modelljét, amellyel néhányan megismertük a kétfázisú víz köpenytéri áramlási képét. Az áramlási kép ismerete arra is választ adhatna, hogy a vízszintes gőzfejlesztő konstrukciója egyáltalán javítható-e, mert a konténment átmérője, így a gőzfejlesztők mérete már nem növelhető.

3.) Célszerű megkövetelni, hogy felül kivágott, ausztenites acél szalagok (8. ábra) fogják közre a hőátadó csöveket a megfogásoknál annak érdekében, hogy a gőzfejlesztő köpenyterében cirkuláló folyadékfázisú víz átöblíthesse a konstrukciós réseket.



8. ábra. **A gőzfejlesztők hőátadó csöveinek évi átlagos dugózási üteme 2006-ig [Karzov]**

A VVER-1000 gőzfejlesztők publikált meghibásodásai

Az 1995-ig üzembe helyezett 20 db VVER-1000 blokk 80 db gőzfejlesztője közül 23 db gőzfejlesztőt cseréltek, 2 db-ot felújítottak 1995-ig a hideg kollektor repedése miatt [Lukaszevics]. A hideg kollektor repedésének közvetlen oka a 10GN2MFA anyagminőségű kollektor feszültségkorróziója, a konstrukció sakktábla csőosztásának (19/23 mm) kis gátmérete és a csövek „robbantásos" illesztése a kollektorfalba volt. A meghibásodásokról [Titov] a gőzfejlesztők akkori főkonstruktőre 1993-ban nemzetközi konferencián is beszámolt, és az új gőzfejlesztőknél az alábbi változtatásokat javasolta:

- a 650 °C-on hőkezelt kollektorok anyagminősége ismét 08H18N10T legyen,
- a csőosztás közel négyzetes (22,1/23) mm legyen,
- a hőátadó csövek berobbantása helyett hidraulikus behengerlés, a rést megszüntető végig hengerelt, kollektorfal-cső kapcsolattal.

A ma üzemelő orosz és ukrán VVER-1000 blokk gőzfejlesztőiből 8 db gőzfejlesztő meleg kollektorában, köpenytérről induló több repedés, illetve a Nº111 varrat repedése, újrahegesztése ismert 2007-ig [Hodakov], de informálisan ennél több repedt meleg (és néhány hideg) kollektorral vagy repedt Nº111 varrattal üzemelő gőzfejlesztőről hallani. E repedések oka – a 10GN2MFA acél feszültségkorróziós hajlama mellett – a kollektor körüli gyűrűben felhalmozódott, összeállt korrózió és eróziótermék részecskék kiváltotta többletfeszültség a kollektorfalban és/vagy a köpenyben, hegesztési varratban.

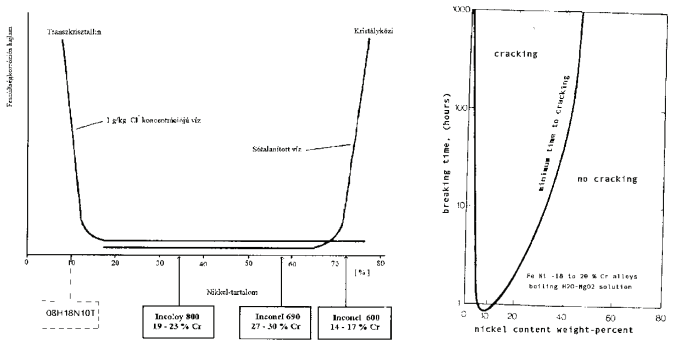
A hőátadó csövek várható dugózási statisztikáját illusztrálja a gőzfejlesztők – orosz szakemberek által meghatározott – átlagos dugózási üteme (9. ábra), amelyben a VVER-1000 gőzfejlesztő a legrosszabb csődugózási statisztikával (~0,1%/év) rendelkezik. Az Inconel-600MA (kötegben hőkezelt) anyagminőség az álló PWR gőzfejlesztők kezdeti anyagminősége volt, és szinte az összes ilyen gőzfejlesztő cseréje után ma ezzel az anyagminőséggel csak néhány gőzfejlesztő üzemel. A hazai szakembereknek el kell felejteni azt a ~20 éve már téves ismeretet, hogy a fekvő VVER gőzfejlesztők megbízhatóbbak, mint az álló PWR gőzfejlesztők.

3. táblázat. A gőzfejlesztő hőátadó csövek anyagminősége, összetétele [m/m %]

Anyagminőség	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Fe	Egyéb
Incalloy-800	0,03	20-23	32-35	–	0,4-1,0	0,3-0,7	< 0,02	< 0,015	alap	Ti 0,6 N0,03
03H21N32M3B	0,03	20-22	31-33	3,0-4,0	0,3-1,7	< 0,35	< 0,015	< 0,01	alap	*
316L	0,03	16-18,5	10-14	2-3	< 2,0	<1,0	< 0,045	< 0,03	alap	N < 0,1
08H18N10T (304)	0,08	17-19	9-11	–	2,0	0,8	0,035	0,02	alap	Ti 0,5 C < 0,7

4. táblázat. VVER-1000 kollektorok anyagminősége [%]

Anyagminőség	C	Cr	Ni	Mn	Si	Fe
10GN2MFA	0,08-0,12	≤ 0,3	1,8-2,3	0,8-1,1	0,17-0,37	Egyensúlyi



9. ábra. **A gőzfejlesztő csövek anyagminőségének feszültségkorróziós hajlama a nikkeltartalom függvényében [Riess], a 08H18N10T anyagminőséggel kiegészítve [Ősz]**
Az ausztenites acél feszültségkorróziós hajlama a nikkeltartalom függvényében [Speidel]

Szerkezeti anyagok

Ma már általánosan elfogadott, hogy a hőátadó csövek 08H18N10T anyagminősége, 9-11% nikkeltartalommal (3. táblázat) érzékeny a transzkrisztallin feszültségkorrózióra (9. ábra).

Több, cseh gyártású VVER gőzfejlesztőben a hőátadó csövek anyagminősége 08H18N12T, 11-13% nikkeltartalommal. E gőzfejlesztők paksi VVER-440 gőzfejlesztőknél jobb csődugózási statisztikája azt bizonyítja, hogy már 2% nikkeltartalom növelése is mérsékli az anyagminőség feszültségkorróziós hajlamát. (A bushehri VVER-1000 gőzfejlesztők hőátadó csöveinek anyagminősége is 08H18N12T [szóbeli információ]).

Az orosz szakemberek egy része az utóbbi évtizedben elfogadta, hogy az eddig alkalmazott 08H18N10T anyagminőség érzékeny a transzkrisztallin feszültségkorrózióra, és két irányban végeztek kutatásokat a kevésbé érzékeny anyagminőségek alkalmazása és a 60 év elvárt élettartam érdekében.

- Az egyik irány az ausztenites-ferrites acél. A δ-ferrites szerkezet legalább 3-5% részarányával csökkenti a feszültségkorróziós hajlamot a γ-ausztenites szerkezetben. Ha a δ-ferrit részaránya meghaladja a 20%-ot, akkor gyakorlatilag minimálisra csökken a feszültségkorróziós hajlam [Zubcenko]. Mások a 316 ausztenites acél alkalmazását javasolják – a 304 acél pitting korrózióval szembeni jobb ellenállása végett [Karzov].
- A másik irány a krómnikkel ötvözet, hiszen a nikkeltartalom növelése csökkenti a feszültségkorróziós hajlamot. Az új VVER gőzfejlesztőiket 03H21N32M3Bu-VI jelű, krómnikkel-ötvözetű (az Incoloy-800 ötvözettel „szinte azonos” kémiai összetételű) hőátadó csövekkel is tervezik a jövőben [Trunov]. Viszont a 03H21N32M3B anyagminőség alkalmazása addig nem jöhet szóba, amíg ki nem dolgozzák a primerkör – krómnikkel ötvözethez illeszkedő és oldott nikkel-ferrit transzporton alapuló – orosz vízkémiáját.

A VVER-1000 gőzfejlesztők kollektorának anyagminősége 10GN2MFA gyengén ötvözött acél (4. táblázat) annak ellenére, hogy már húsz éve megállapították: a 10GN2MFA anyagminőség 290 °C hőmérsékleten [Titov, 1993], illetve az újabb vizsgálatok szerint 260 és 280 °C között [Harcenko, 2010] érzékeny a feszültségkorrózióra, de 320 °C felett már nem, ezért vissza kell térni a 08H18N10T anyagminőséghez [Titov].

E megállapítás ellenére az újabb külföldi (Bushehr, Tianwan, Kudankulam) VVER-1000 gőzfejlesztők két kollektorát és köpenyét is 10GN2MFA anyagminőséggel készítették. A VVER-1200 gőzfejlesztő köpenytere 70 bar nyomáson éppen e feszültségkorrózióra érzékeny hőmérsékleten (≈ 286 °C) üzemel majd.

A kollektorok repedésének kockázatát az orosz szakemberek tehát a mai napig fenntartották, hiszen a kollektorok és a köpeny körüli gyűrű, a 10GN2MFA anyagminőség feszültségkorróziós érzékenysége szerepet játszott a hideg és újabban a meleg kollektor, a N°111 varrat vagy a mellette lévő köpeny repedésében.

A hazai elvárás csak az lehet, hogy a két kollektor és a hőátadó csövek anyagminősége ausztenites (esetleg ausztenites-ferrites) acél legyen legalább 12% nikkeltartalommal, a köpeny anyagminősége pedig ne legyen érzékeny a feszültségkorrózióra az üzemi hőmérsékleten.

A gőzfejlesztő vízkémiája

A gőzfejlesztő víz kémiája a lokális korrózió kockázatát a vízzel bekerülő szennyezőanyagok minimalizálásával, a korrózió- és erózió-termékek lerakódásának megakadályozásával és az oxidációs környezet kizárásával a gőzfejlesztő vízben a minimálisra csökkenti. Tehát az ALARA (As Low As Reasonably Achievable) elvet (a szennyezőanyagok koncentrációja olyan kicsire csökkentendő, amennyire az ésszerűen lehetséges) kell alkalmazni a gőzfejlesztők vízkémiájára. Az orosz, ukrán gőzfejlesztők üzemi adatai azt mutatják, hogy a vízzel bekerülő szennyezőanyagok, vas korróziótermékek koncentrációja a munkaközegben közel nagyságrenddel nagyobb a minimálisan lehetségesnél. A követelmények viszont nem a gőzfejlesztőkben, hanem a kapcsolódó szekunderkörben (gőzturbina és berendezéseiben) teljesíthetők.

Gőzturbina és berendezései

A hiányos információk alapján a leningrádi NPP-2-hez hasonló K-1200-68/50 (10. ábra) gőzturbina kerülhet Paksra, de érdemes figyelemmel kísérni a VVER TOI-hoz – a Roszatom megbízásából – az ALSTOM fejlesztés alatt álló K-1200-68/25 (11. ábra) gőzturbiná-

5. táblázat. Az orosz gőzturbinák névleges jellemzői

Jellemzők	Mérték-egység	K-1200-68/50 (AES-2006)	K-1200-68/25 (VVER-TOI)
A gőzturbina-generátor bruttó teljesítménye	MWe	~1200	~1200
A gőzturbinába lépő gőz nyomása	bar	68	68
hőmérséklete	°C	283,8	283,8
tömegárama	kg/s	17 466	8928
gőztartalma	%	< 0,5	< 0,5
A reaktorból kilépő hőmérséklete	°C	328,9	298,3
A gőzturbina-generátor fordulatszáma	1/s (1/min)	50 (3000)	25 (1500)
Gőzturbina		2LPC + HPC + 2LPC	HPC/MPC + 2LPC
A lapát magassága az LPC utolsó fokozatban anyagminősége	mm	1200 acél/titán	1760 titán/acél
Szeparáció-túlhevítés		4 db MS+RH1+RH2	2 db MS+RH1+RH2
Tápvíz-előmelegítés		4LPH+D+2HPH	4LPH+D+2HPH
LPC- kisnyomású, HPC- nagynyomású, HPC/MPC nagy és középnyomású turbinaház; MS- Cseppleválasztó, RH1- túlhevítő 1. fokozat, RH2- túlhevítő 2. fokozat; LPH- kisnyomású, HPH- nagynyomású tápvíz-előmelegítő, Feddwater Tank- táptartály.			

6. táblázat. A hőátadó csövek munkaközeg négy állapotával érintkező felülete

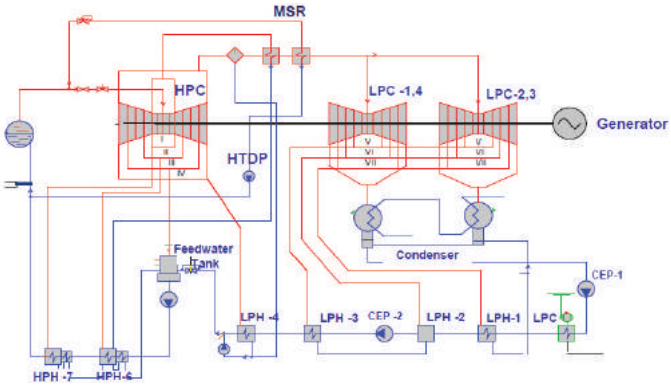
A víz alábbi fázisaival érintkezik (berendezések)	Felület [m²]
Folyadékfázisú víz (tápvíz-előmelegítők csőtér)	14 965
Nedvesgőz (tápvíz-előmelegítők, kondenzátor köpenytér, túlhevítő csőtér)	67625
Kétfázisú víz (gőzfejlesztő köpenytér)	24420
Túlhevített gőz (túlhevítő köpenytér bordák nélkül, bordákkal)	11500 >55000
Összes érintkező felület (bordákkal együtt)	118500 (173500)

ját is. A két gőzturbina névleges jellemzői alig térnek el egymástól, miközben az ALSTOM gőzturbina fordulatszáma fele az oroszénak (5. táblázat), mert négypólusú generátor állítja elő az 50 Hz frekvenciájú áramot, ezért csak három turbinaházból áll. A gőzturbinákban a termikus-mechanikai energiaátalakítás fokozati hatásfoka nőtt az elmúlt 20 évben, aminek következménye a nagyobb tengelyteljesítmény (előny), illetve a gőz nagyobb nedvességtartalma (hátrány) lett. Az 1000-1600 MW_e teljesítményű telített gőzös turbinák hőcserélőinek meghatározó anyagfogyása a nedvesgőz kiváltotta erózió lett, mert pl. a VVER-1200 blokk szekunderköri felületének ~57%-a nedvesgőzzel érintkezik (6. táblázat). Ezért alapvető mai elvárás, hogy a keletkező nedvesség (folyadékfázisú víz) elszívása a nagy és (szimmetrikus ikeráramlású) kisnyomású turbinaház nedvesgőz tartományában hatékony legyen.

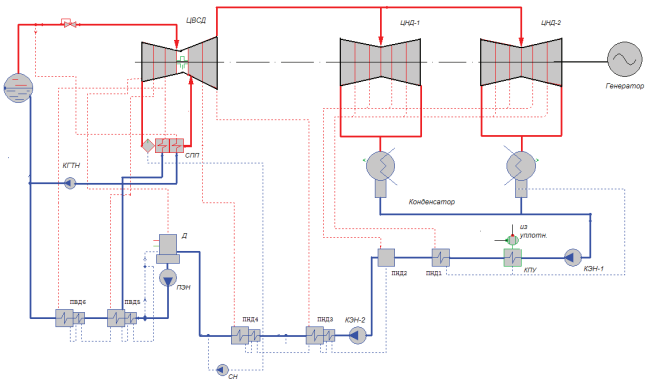
Ugyanakkor egyre több szakember fogalmazza meg, hogy 700-800 MW_e felett a gőzfejlesztők, gőzturbina és hőcserélői geometriai mérete már olyan karbantartási többletköltséget eredményezhet, amelylyel elveszik az egységteljesítmény növelése által elért beruházási költség megtakarítás. A VVER-1200 blokk berendezéseiben is számíthatunk a nagy méretek kiváltotta áramlási egyenlőtlenségekre főleg a nedvesgőz áramlásánál, a nagyobb vízcseppek fokozott eróziós hatásával.

A két, eltérő fordulatszámú K-1200-68 gőzturbina kondenzátor, tápvíz-előmelegítő és gőz alrendszere gyakorlatilag azonos:

- A frissvíz (dunavíz) hűtésű kondenzátor becsült felülete 40 000 m² ($\dot{Q}_2 \approx 2000$ MW_{th}, $\bar{k} = 3{,}7$ kW/m² °C, $\Delta t_{ln} = 13{,}6$ °C);
- LPH1 kisnyomású tápvíz-előmelegítő a négy negyed kondenzátor (n=3000 1/min), illetve a két fél kondenzátor (n=1500 1/min) csőkötege alatt, külön köpenyben helyezkedik el;
- LPH2 kisnyomású keverő tápvíz-előmelegítő ($\dot{m}_{fk} = 3400$ t/h, p=0,65 bar ($t_s = 88{,}0$ °C), $\Delta t_{fk} = 27$ °C);
- LPH3 kisnyomású felületi tápvíz-előmelegítő ($\dot{m}_{fk} = 3610$ t/h, F=2445 m²) csapadékhűtő nélkül;
- LPH4 kisnyomású tápvíz-előmelegítő ($\dot{m}_{fk} = 4300$ t/h, F=3570 m²) csapadékhűtő nélkül;
- Gáztalanítós táptartály (Feedwater tank);
- 2-2 db HPH-6, HPH-7 párhuzamosan kapcsolt nagynyomású tápvíz-előmelegítő ($\dot{m}_t = 3100$ t/h, F=2530 (kondenzációs) + 200 m² (csapadékhűtő) egy előmelegítőben);
- A VVER-1200 blokkhoz egy testben új cseppleválasztó-kétfokozatú túlhevítőt terveztek, amelyről még nem található publikált ismeret. (A VVER-1000 blokkhoz tartozó 4 db



10. ábra. **K-1200-68/50 gőzturbina és a hőséma fő elemei [Nedavny]**



11. ábra. **K-1200-68/25 gőzturbina és a hőséma fő elemei [Nedavny]**

SZPP-500 kétfokozatú csepleválasztó-túlhevítő bordák nélküli külső felülete 11 500 m^2.)

Először jelenik meg hazánkban keverő tápvíz-előmelegítő nagy teljesítményű gőzturbinánál. Egyrészt a nedvesgőz eróziós hatása indokolja alkalmazását, másrészt a keverő tápvíz-előmelegítő a felületinél kockázatosabb hőcserélő a folyadékfázisú víz gőzturbinába való visszaáramlása miatt.

A felületi, kamra típusú tápvíz-előmelegítők Π-alakú hőátadó csövei a belépő és kilépő kollektorba vannak rögzítve.

Szerkezeti anyagok

Ha összehasonlítjuk az ötvözetlen (és gyengén ötvözött) valamint a rozsdamentes (martenzites és ausztenites) acél mért átlagos korróziósebességeit (20 mg/m^2h, illetve < 1 mg/m^2h), akkor az eltérés közel húszszoros, ami megjelenik a munkaközeg korróziótermék transzportjában is. Ezért a 900 MW_e-nál nagyobb új, tervezés alatt álló nyomottvizes atomerőmű blokkok szekunderköri hőcserélőiben a hőátadó csövek anyagminősége kizárólag rozsdamentes acél.

- A kondenzátorcsövek elvárt anyagminősége ausztenites acél a pontkorrózióval szemben 48-nál nagyobb PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) számmal.
- A kis és nagynyomású tápvíz-előmelegítők hőátadó csöveinek elvárt anyagminősége ferrites martenzites (08Cr14MF) vagy ausztenites (08H18N10T) acél, míg a köpenytér nedvesgőzzel érintkező elemeié (pl. gőzütköző lemez) ausztenites acél.
- A csepleválasztó zsaluzat elvárt anyagminősége ausztenites acél, a túlhevítő hőátadó csöveké 08Cr14MF acél.
- A nedvesgőz munkaközegű gőzturbina lapátok anyagminősége nagy krómtartalmú vagy ausztenites acél, illetve 1000 MW_e-nál nagyobb gőzturbinák utolsó fokozataiban a forgó lapátok anyagminősége titánötvözet a felső harmadban kerámiaötvözetű él védelemmel.
- A szekunderkörben, kapcsolódó alrendszerekben, pótvíz-készítő technológiában csak jó minőségű acél berendezés, szerkezeti elem, alkatrész lehet, egyetlenegy elem sem készülhet rézből vagy rézötvözetből annak érdekében, hogy a gőzfejlesztő köpenyterébe ne kerüljenek réz-oxid korróziótermékek.
- A nedvesgőzzel érintkező megcsapolási gőzvezetékek elvárt anyagminősége ausztenites acél.

A munkaközeg vízkémiája

A vízkémia ALARA elve – a legjobb nemzetközi gyakorlattal – az alábbi követelményekkel valósítható meg.

A szekunderkör zártsága

A szekunderkör zártsága (integritása) azt jelenti, hogy KÍVÜLRŐL minél kevesebb oldott és diszperz szennyezőanyag kerüljön a munkaközegbe, ami a főkondenzátum alrendszer alábbi követelményeivel biztosítható:

- Hűtővíz-tömör kondenzátor: Folyóvíz hűtésnél ausztenites acél kondenzátorcsövekkel;
- Levegő-tömör vákuumos részek: $\varepsilon_l = \dot{m}_l / \dot{m}_{gK} \leq 10^{-5}$, azaz a kondenzátorba lépő gőz tömegáram ($\dot{m}_{gK} \approx 3{,}2 \cdot 10^6$ kg/h) mellett $\dot{m}_l \leq 32$ kg/h levegőáram kerülhet a gőzbe, és a kilépő főkondenzátum oxigén koncentrációja $C_{O2} \leq 10$ µg/kg megegyezik a tápvízre előírttal;
- A szekunderkör pótvíz-felhasználása teljesítményüzemben közel legyen a technológiai veszteségekhez, azaz $\overline{\dot{m}_p}$ <3 t/h, illetve <72 t/nap.

(A hűtővíz-tömör kondenzátort és a levegő-tömör vákuumos részeket 1997-2000-ben sikerült megvalósítani a paksi VVER-440 blokkoknál, a szekunderkör pótvíz-felhasználását (min. 5-10 t/h) csak közelíteni tudtuk ehhez az értékhez az orosz tervezésű kapcsolás miatt.)

A munkaközeg nagy tisztasága

A munkaközeg nagy tisztasága az alábbi követelményekkel biztosítható:

1.) A szekunderkör feltöltő és pótvize nagy tisztaságú pótvíz 95% időalapú rendelkezésre állással:

- $\kappa_{25} \leq 0{,}06$ µS/cm ($c_{Cl} \approx 0{,}2$ µg/kg), $c_{SiO2} \leq$ 3-5 µg/kg, $\tau = 8300$ h/év, illetve
- $\kappa_{25} \leq 0{,}1$ µS/cm ($c_{Cl} \approx 1{,}0$ µg/kg), $c_{SiO2} \leq$5-10 µg/kg, $c_{Sl^-} \leq 1$ µg/kg, $\tau = 460$ h/év;

(Az új paksi pótvíz-készítő technológia is e tervezési követelményekkel létesült 2014-ben.)

2.) A gőzfejlesztő tisztított leiszapolásának (5. víztisztító) minősége egyezzen meg a nagy tisztaságú pótvízével.

3.) A munkaközegbe adagolt kondicionáló (többfunkciós) vegyszerek, a berendezések tömítései, a karbantartások alatt használt felülettisztító vegyszerek feszültségkorróziós aktivátor (klorid-, szulfát- és nátriumion) koncentrációja valamint oxidáló anyagoktól való mentessége egyezzen meg – a paksi VVER-440 blokkok 30 éves tudása alapján kidolgozott – előírásokkal.

4.) A munkaközeg nagy tisztaságát teljesítményüzemben az is biztosítja, hogy a kondenzátum-tisztítónak nem lesz kevertágyas ioncserélője, mert a gyantatöltet szennyező ionjai megnövelik a munkaközeg ionkoncentrációját. A blokk indulása előtt le kell üríteni az állás alatt elszennyeződött folyadékfázisú vizet, és nagy tisztaságú pótvízzel kell feltölteni a szekunderkört annak érdekében, hogy a teljesítményüzem nagy tisztaságú munkaközeggel kezdődjön.

A nagy tisztaságú munkaközeg minőségi követelményei lényegesen szigorúbbak az orosz előírásoknál, amit a magyar szakembereknek érvényesíteni kell a tervezés során.

A munkaközeg kondicionálása

Az áramlás által támogatott korrózió felismerése óta az eróziós-korróziónak, eróziónak ellenálló anyagminőségű hőátadó csöveket alkalmaznak a hőcserélőkben (lásd 3.2.), mert a munkaközeg kondicionálása kisebb mértékben csökkenti a korróziósebességet, mint a megfelelő anyagminőség. Az áramlás által támogatott korrózió döntően diszperz részecskéket, és jóval kevesebb tömegű oldott korróziótermékét juttat a vele érintkező munkaközegbe. Ennek ellenére az orosz szakemberek többsége még ma is nagyobb jelentőséget tulajdonít a munkaközeg kondicionálásának, mint az anyagminőségnek, aminek következménye a gőzfejlesztőkbe lépő lehetségesnél jóval nagyobb korróziótermék-áram.

Atomerőművek szekunderkörében illékony lúgosító vegyszert adagolnak a tápvízbe (vagy főkondenzátumba), és/vagy kiegészítésként nem illékony lúgosító vegyszert adagolhatnak a gőzfejlesztő vízbe. Az adagolt lúgosító vegyszer a tápvíz (gőzfejlesztő víz) pH_{25} értékét állítja be, amely minimalizálja a szekunderkör homogén acél anyagminőségű felületeinek általános elektrokémiai korrózióját, de alig lesz hatással a nedvesgőz vízcseppjei által kiváltott erózióra. A rozsdamentes acél hőátadó csövek elektrokémiai és nem eróziós-korróziója zajlik a tápvíz 4-6 m/s-nál kisebb áramlási sebessége mellett, ami minden hőcserélőben valószínűleg fennáll.

Az ausztenites és ferrites martenzites acél nedvesgőz-oldali eróziót – ma még – a vízcseppek diszpergálásával, méretük csökken-

tésével lehet mérsékelni. Az elkövetkező 10 évben – remélhetőleg – számos ún. többfunkciós (lúgosító, diszpergáló, a felületet állás alatt konzerváló) vegyszer jelenik meg, amelyekből a létesítés alatt lehet majd választani.

Mai elvárás, hogy az adagolási pont környezetében elhelyezett vegyszertartályból az adagoló szivattyú a tápvíz pH_{25} értékéről szabályozva adagolja a többfunkciós vagy kondicionáló vegyszer 25-50 tömeg %-os oldatát közvetlenül a tápvízbe (főkondenzátumba, gőzfejlesztő vízbe). Tehát nem szükséges az adagolandó híg vegyszeroldat központi elkészítése és vezetékek kiépítése az adagolási pontig.

A munkaközeg korróziótermék transzportja

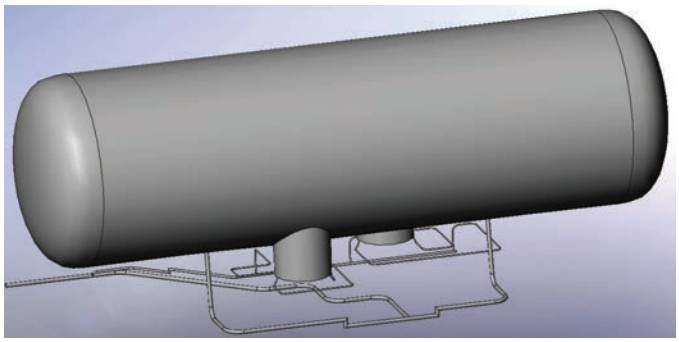
A vízüzem következménye a munkaközeg korróziótermék transzportja, amelynek nagy része a gőzfejlesztők köpenyterébe kerül. A gőzfejlesztőkbe lépő tápvíz diszperz (>0,45 µm szűrt) vas elvárt koncentrációja a fejlett országokban $c_{Fej} \leq 5$ µg/kg, ami $\dot{m}_t = 6{,}4 \cdot 10^6$ kg/h tápvíznél $\dot{C}_{Fej}$=32 g/h diszperz vas áramot, azaz $\tau = 8000$ óra alatt ~250 kg/év diszperz vas behordást eredményez a négy gőzfejlesztőbe. Az orosz előírás ennek kétszerese, $c_{Fe} \leq 10$ µg/kg (~500 kg/év), amit az összes VVER atomerőműben oldottként mérve ($pH_{25} \approx 9{,}0$) könnyen teljesítenek, becsapva ezzel saját magukat is (lásd 3. ábra).

Miközben nincs szükség a kondenzátum-tisztító kevertágyas ioncserélőire, mert ionokkal elszennyezik a nagy tisztaságú munkaközeget, mindenképpen szükség lesz korróziótermék-szűrőre. Az elektromágneses szűrő (EMF) csak a mágneses (magnetit, maghemit) korróziótermék részecskéket távolítja el, a nagyobb részt kitevő, nem mágneses eróziótermékeket nem. A kondenzátor köpenytere a legnagyobb eróziótermék-forrás lesz. Az LPH1 kisnyomású tápvíz-előmelegítő a kondenzátorköpenyben helyezkedik el, így olyan szűrő jöhet csak szóba, amelynek üzemi hőmérséklete várhatóan 50-60 °C. Kérdéses, hogy lesz-e ilyen hőmérsékletű, megbízható korrózió- és eróziótermék szűrő a létesítés megkezdéséig? Ha viszont elérhetők lesznek viszonylag nagyobb hőmérsékletű (pl. kerámiabetétes) korrózió- és eróziótermék szűrők, akkor – az üzemi hőmérséklete alapján – érdemes feljebb elhelyezni a szűrőt, legalább a gáztalanítós táptartály elé a gőzfejlesztőkbe lépő diszperz korrózió- és eróziótermék-áram mérséklése érdekében.

A gőzfejlesztőkbe bekerült korrózió és eróziótermék részecskék hatékony leiszapolással távolíthatók el. A gőzfejlesztő leiszapolása akkor hatékony, ha a tápvízzel érkező szennyezőanyag-áramot a leiszapolás szennyezőanyag-árama eltávolítja (a nedvesgőzzel távozó szennyezőanyag-áram közel zérus). A koncentrálódó oldott ionokat általában folyamatos, a felhalmozódó diszperz korrózió- (és erózió-) termékeket általában periodikus leiszapolással tervezik eltávolítani. A VVER-1000 gőzfejlesztők köpenytéri leiszapolását két különböző helyről veszik (lásd 6 ábra):

- folyamatos leiszapolást az oldott ionok – méréssel meghatározott – koncentrálódási helyéről, a Π-csövek rövidebb hidegági oldaláról, a vízszint alól (1 jelű a 6. ábrán) kis tömegárammal;
- periodikus leiszapolást a két kollektor körüli gyűrűből 2-2 helyről (12 jelű) és két helyről, a köpeny aljáról (3 jelű) nagyobb tömegárammal (12. ábra).

Az orosz szakemberek – megítélésem szerint – ma sem ismerik a korrózió és eróziótermék részecskék felhalmozódási helyeit a VVER gőzfejlesztők köpenyének alján teljesítményüzemben, mert ehhez ismerni kellene a köpenytér áramlási képét. Az üzemviteli tapasztalatok alapján a részecskék egyik felhalmozódási helye a két kollektor körüli gyűrű, de hogy milyen köpenytéri áramlások juttatják oda őket, azt nem ismerjük. A köpenytéri áramlási kép ismeretében a 6. ábra



12. ábra. **A VVER-1000 gőzfejlesztő leiszapoló vezetékei Temelinben [Junek]**

orosz leiszapoló rendszeréhez képest – a VVER gőzfejlesztők eddigi üzemviteli tapasztalata alapján – hatékonyabb leiszapoló rendszert kell tervezni, amihez megfelelő stratégiát lehet majd kidolgozni.

Irodalom

[1] UNIPEDE-THERNUCLECHIM (1993): Secondary Side Chemistry of Nuclear Power Plants with Pressurised Water Reactors. C03-700-93-020/r/rryw

[2] ATOMENERGOPROEKT (2011): Design AES-2006. Concept Solutions by example of Leningrad NPP-2. Saint-Petersburg.

[3] GIDROPRESS PROSPEKTUSOK:
- Status report 108-VVER-1200 (V-491), 2011.
- The AES-2006 reactor plant. Strategic choice, 2012.

[4] TRUNOV N.B., RIZSOV S.B., DAVIDENKO S.E.(2010): Gorizontalnie parogeneratori: Vizovi i perspektivi. 8-j mezdunarodnij seminar po gorizontalnim parogeneratoram. Podolszk, 2010. május 19-21.

[5] TRUNOV N.B., LOGVINOV S.A., DRAGUNOV JU.G. (2001): Gidrodinamiceskie i teplohimiceskie processi v parogeneratorah. Energoatomizdat. ISBN 5-283-00288-8.

[6] LUKASZEVICS V.I., TRUNOV N.B. (2004): Parogeneratori reaktornik ustanovok VVER dlja atomnih elektrostancij. Akademkniga, Moszkva.

[7] HODAKOV (2010): Remont s izpolzovaniem svarki uzla privarki kollektorov teplonositelja k patrubkam Du1100 korpusov parogeneratotov VVER-440 posle dlitelnoj ekspluatacii. 8-j mezdunarodnij seminar po gorizontalnim parogeneratoram. Podolszk, 2010. május 19-21.

[8] L. JUNEK, J. AMBROZ (2010): Proizvodstvennüj opüt s csehszkim raspredeleniem pitatelnoj vodü v PG VVER-1000 na AES Temelin. 8-j mezdunarodnij seminar po gorizontalnim parogeneratoram. Podolszk, 2010. május 19-21.

[9] KARZOV G.P. (2010): Problemi i perspektivi primenenija konstrukcionnih materialov dlja gorizontalnih parogeneratorov. 8-j mezdunarodnij seminar po gorizontalnim parogeneratoram. Podolszk, 2010. május 19-21.

[10] R. RIESS: Secondary Side Concept to Prevent Steam Generator Tube Corrosion. Kézirat.

[11] M. O. SPEIDEL (1981): Stress Corrosion Cracking of Stainless Steel in NaCl Solutions. Metallurgical Transactions A, 1981. május, p 779-789.

[12] V. F. TITOV (1993): Status of Steam Generators for NPPs with VVER-1000. IAEA Specialists Meeting on Steam Generators Problems and Replacement, Madrid, 13-17, December, 1993.

[13] HARCENKO S.A. (2010): Rezultati rabot po issledovaniju pricin povrezdenija metala v rajone svarnogo sva privarki kollektora pervogo kontura k korpusu parogeneratora i razrabotka kompensirujusih meroprijatij. 8-j mezdunarodnij seminar po gorizontalnim parogeneratoram. Podolszk, 2010. május 19-21.

[14] ZUBCENKO A.S., BANJUK G.F. (2009): Perspektivnie dlja teploobmennogo oborudovanija austenitno-ferritnie hromonikelevie stali (kratkij obzor). Voprosi atomnoj nauki i tehniki 2009, vipusk 25, Reaktornie ustanovki s AES, p 106-112.

[15] NEDAVNY V.: Equipment of OJS „Power Machines" for new international projects of NPP rated 800-1200 MW. T3S2O3 paper and slides.

A Paksi Atomerőmű I. és II. kiépítésének primer köri exergiagazdálkodása

Dr. Szondi Egon János
aranyokleveles gépészmérnök, dregonjanos@gmail.com

Az orosz PWR-rendszerű Paksi Atomerőmű entalpia-alapon számolt hatásfoka mind az I. (4×500 MW) mind a II. (2×1200 MW) kiépítésre vonatkozóan nyilvános adat. Ezek számítása a gőzfejlesztőnél, az energiamegmaradás törvénye miatt tulajdonképpen reaktortartályok primer köri csonkjainál kezdődik, a reaktoron belüli, reaktorfizikai folyamatokat nem veszik figyelembe. A maghasadás során az energia sokféle úton szabadul fel, ezek egyszerű összegzése elfedi az erőművi körfolyamat jobbítási lehetőségeit. A helyzet korrekt értékelése – illetve Paks I. és Paks II. összehasonlítása – csak exergetikai szemlélettel lehetséges. A Paksi Atomerőmű bővítéséhez választott (egyébként III+ generációs) reaktorokkal a Paks II. erőmű nem éri el az exergiagazdálkodási optimumot.

*

The enthalpy-based efficiencies are public values for both the I. and II. phases of the Hungarian Paks NPP with Russian PWR-system. The calculation of these starts at the steam generators, but due to the energy conservation law, actually at the nozzles of the reactor pressure vessel, where the primary circuit is connected to the reactor. The reactorphysical processes within the reactor are not taken into account. The fission energy is released by many ways, the simple summing-up of these covers the possibilities of the improvement of the power cycle. The correct evaluation of the situation – and the comparison of Paks I. and Paks II. – is possible on the exergy-basis only. The NPP Paks II. could not reach the exergy based optimum with the selected (btw generation III+) reactors.

* * *

A Paksi Atomerőmű I. (4×500 MW) és II. (2×1200 MW) kiépítésének legfontosabb adatait az 1. táblázat tartalmazza, az erőmű honlapja [1], illetve a bővítés környezeti hatástanulmánya [2] továbbá két összefoglaló előadás [3], [4] alapján. Az adatok konzisztenciája megkérdőjelezhető, pl. Paks I. primerköri vízforgalmaként 40800 m^3/h és 40800 t/h egyaránt megjelenik, miközben a hidegági sűrűség 0,7838 t/m^3, a melegági pedig 0,7249 t/m^3. (Abban az esetben, ha a Paks II. adatokban eltérés volt, a táblázatba a legfrissebb került.) Az említett publikációkban az atomreaktor mint egy „fekete doboz” jelenik meg, az adatokat a reaktortartály csonkjainál kijelölt határ zárja. Ez a megközelítés olyan, mintha egy hagyományos hőerőmű energetikai analízise nem terjedne ki a kazánra. Azt, hogy a VVER-1200 típus két variánsa közül melyik létesül a Paks II. erőműben, a kereskedelmi szerződés titkosítása miatt nem lehet tudni. (A változatok: V392M és V491, lásd a 2014. október 14-i előadást [5], a 2014. november 12-i előadás a variáns megnevezése nélkül a V491-re utal [3])

1. táblázat. Energetikai alapadatok

Jellemző	Egység	Paks I.	Paks II.
Reaktor hőteljesítmény	MW	1465	3200
Teljesítmény a generátorkapcsokon	MW	500	1200
Blokk energia- (entalpia-) hatásfoka (η)	%	34,1	37,5
Önfogyasztás	%	5,5	7,1
Kiadható nettó teljesítmény	MW	473	1113
Önfogyasztással korrigált hatásfok	%	32,3	34,8
Primerköri nyomás	MPa	12,5	16,2
Primer köri hűtőközeg-áram	kg/s	8215*	17 391
Reaktor belépő hőmérséklet	°C	266	298,2
Reaktor kilépő hőmérséklet	°C	297	328,9
Gőzfejlesztő kilépő nyomás	MPa	4,6	6,27

* 40 800 m^3/h × 0,7249 t/m^3

Az alábbiakban a reaktoron belüli folyamatok exergia-alapú *egyszerűsített elemzésére* kerül sor. A komplett elemzéshez szükséges háttér-ismeretek megismerhetők Csom Gyula professzor „egyetemi tankönyv/szakkönyv” minősítésű könyvsorozata első feléből [6], [7]. (A folytatás [8], [9] nem kapcsolódik közvetlenül e cikk témájához.) – A reaktoron belül végbemenő folyamatok erősen hely- és időfüggőek, az exergetikai elemzéshez jelentős egyszerűsítésekre van szükség, pl. [10] a problémát kikerüli: „Exergy losses in the nuclear reactor itself are not considered in this study”.

A szén-tüzelésű hőerőművek körfolyamatába bevitt hő számításához tudni kell a tüzelőanyag fűtőértékét. Ezek az adatok számtalan helyen fellelhetők, nem ritkán még mindig kcal/kg mértékegységgel (!). Néhány gyakran előforduló érték:

tőzeg (nedves)	~~6,0~~ MJ/kg
tőzeg (száraz)	~~15,0~~ MJ/kg
lignit	~~15,0~~ MJ/kg,
barnakőszén	~~23,8~~ MJ/kg
antracit	~~32,5~~ MJ/kg
grafit	32,8 MJ/kg

Az adatok többségének áthúzása azt hangsúlyozza, hogy nem lehet ugyanazzal a számmal jellemezni a különböző fajtákat, mert az adott szénfajta fűtőértéke sok tényezőtől függ. Egyetlen kivétel a grafit, ami elemi szén (karbon). Könnyen kiszámolható, mennyi a grafit egyetlen szénatomja oxidációjakor felszabaduló hő: 12 kg szén (1 kmol) $N_A = 6{,}02214129(27)\times10^{26}$ atomot tartalmaz (N_A az Avogadro-szám [11]). Ebből következik, hogy ez az energia $32{,}8\times10^6/(6{,}02214129\times10^{26}/12) = 6{,}53588119\times10^{-19}$ J. A kapott eredmény nagyságrendje miatt nehezen kezelhető, célszerű átszámolni a *sokkal kényelmesebb* eV-ra („The electronvolt is the kinetic energy acquired by an electron in passing through a potential difference one volt in vacuum.”) Jóllehet ez az egység nem része az SI mértékrendszernek, használatát [11] gyakorlati okokból megengedi, sőt az SI prefixek is használhatóak. Az 1 eV = $1{,}60217653(14)\times10^{-19}$ J átszámítási tényezővel a szén égéshője 4,07937844 ≈ 4 eV/atom.

A maghasadáskor felszabaduló energia

Az A tömegszámú atommagok tömege kisebb, mint az őket alkotó Z proton és N neutron tömegének összege: $m_A < Z\times m_p + N\times m_n$ (ahol $A = Z + N$). A tömeghiány az $E = mc^2$ összefüggés szerint megfelel a kötési energiának. Ezt A-val osztva és az így nyert f*ajlagos kötési*

energiát a tömegszám függvényében ábrázolva azt tapasztaljuk, hogy a „közepes" *A* értékeknél a görbe kb. 0,85–0,9 MeV többletet mutat az $A \approx 236$ tömegszámhoz tartozó adathoz képest.

A görbe finomszerkezete szerint a kötési energiának lokális maximuma van, ha *Z* is és *N* is páros szám, minimuma, ha mindkettő páratlan szám.

Az urán esetében $Z = 92$, tehát az $A = 235$ tömegszámú izotópban $N = A - Z = 143$ neutron van. Még egy neutront a maghoz adva páros-páros konfigurációt kapunk, vagyis a kötési energia többlete elég nagy lehet ahhoz, hogy az így kapott, *erősen gerjesztett* átmeneti mag két közepes tömegszámú részre hasadjon. A felszabaduló energia, a kötési energiák különbsége ekkor kb. 200 MeV (0,85×236), a szén égéshőjének mintegy 50 milliószorosa.[1]

A 200 MeV csak irányérték, a tényleges energia-felszabadulás a hasadást okozó neutron energiájától (is) függ. A [12] cikkben található összefüggések felhasználásával készült 2. táblázat a három legfontosabb reaktor-üzemanyag (^{235}U, ^{238}U, ^{239}Pu) egy magjának hasadásakor felszabaduló energia fajtánkénti megoszlását mutatja be néhány hasító-neutron-energiánál. A reaktorban a neutronspektrum folytonos, ráadásul a reaktor üzeme alatt adott helyen időben változó függvény, továbbá maga a hasadás sokféle hasadvány-pár születésével jár (ezek együttes kötési energiája eltérő, tehát a „maradék" kinetikus energia is eltérő; a hasadványok gyakorisági görbéit lásd pl. [13]), ezért a táblázatbeli adatok csak tájékoztatásul szolgálnak.

2. táblázat. A maghasadáskor felszabaduló energia összetevői (MeV)

Hasadó mag	Hasító neutron energiája			
	termikus (≈0,03 eV)	1 MeV	2 MeV	3 MeV
Hasadványok kinetikus energiája (a késő neutronok kibocsátása előtt)				
^{235}U	170,93	171,08	171,24	171,39
^{238}U	171,70	171,46	171,23	171,01
^{239}Pu	177,80	177,45	177,10	176,75
Hasadványok gerjesztése (általában β^- bomlás viszi el a gerjesztési energiát)				
^{235}U	6,60	6,68	6,76	6,83
^{238}U	6,68	6,80	6,93	7,05
^{239}Pu	6,47	6,59	6,70	6,81
Prompt γ-sugárzás energiája				
^{235}U	6,60	6,68	6,76	6,83
^{238}U	6,68	6,80	6,93	7,05
^{239}Pu	6,74	6,86	6,97	7,08
Fentiek összege				
^{235}U	184,13	184,44	184,76	185,05
^{238}U	185,06	185,06	185,09	185,11
^{239}Pu	191,01	190,09	190,77	190,64

Az előbbiektől némileg eltérő adatokat tartalmazó 3. táblázat [14] nyomán összefoglalja a reaktor-üzemanyagok legfontosabb energetikai jellemzőit. A hasadáskor felszabaduló energia döntő hányada (80%) a hasadványok kinetikai energiája. A keletkező β^- sugárzás gyakorlatilag helyben elnyelődik (4%), a γ-sugárzás (4%) és a hasadási neutronok (3%) csaknem teljes energiájukat a környezetnek néhány cm-en belül átadják, a neutron befogási (n,γ) reakciók γ-sugárzása (4%) ugyanígy. Ez összesen 95%, ami a reaktoron belül szabadul fel.

[1] Ez az arány a magyarázata annak, hogy miért lehet évekre elegendő üzemanyagot tárolni az atomerőművek számára.

3. táblázat. Hasadási exergia [14] nyomán

Üzemanyag	Hasadási energia (MeV)	Hasadási exergia (MeV)	Fajlagos exergia (TJ/kg)	Fajlagos exergia (GWd/kg)	Tenyésztés lépései
^{233}U	200,0	190,0	78,7	0,91	$^{232}Th(n,\gamma)^{233}Th \rightarrow {}^{233}Pa \rightarrow {}^{233}U$
^{235}U	203,0	192,9	79,2	0,92	
^{239}Pu	208,9	198,5	80,1	0,93	$^{238}U(n,\gamma)^{239}U \rightarrow {}^{239}Np \rightarrow {}^{239}Pu$
^{241}Pu	210,8	200,3	80,2	0,93	^{241}Pu a reaktor üzeme során több úton is keletkezik, lásd pl. [6] 3.24 ábráján (másolata: [30] 21. oldali ábrája)

A köztudottan nagy áthatolóképességű γ-sugárzásnak a hasadás helyéhez közeli elnyelődését, vagyis a felszabaduló energia hasznosíthatóságát igazolják a 4. táblázat adatai, melyek számítása az IAEA EFDL adatbázisa [15] felhasználásával történt. A táblázatban található „közepes szabad úthossz" *x*-szerese mögött a *párhuzamos nyalábban* haladó γ-sugárzás intenzitása a bemenőének csak e^{-x}-szerese[2]. A zóna méteres nagyságához képest a cm-es szabad úthossz annyira rövid, hogy az összesen 8%-ot kitevő „γ-fűtést" is a primer víz viszi el. (A zóna külső felülete közelében keletkező γ-fotonok tartályfalba jutását, ezáltal az ott történő elnyelődés okozta, a fal károsodásával járó hőfelszabadulást [16]

4. táblázat. Közepes szabad úthossz a reaktor zónájában és acélszerkezeteiben

γ-foton energiája MeV	Közepes szabad úthossz (mfp) cm			
	VVER-440	VVER-1200	vas	ólom*
0,100	0,150	0,138	0,350	0,016
0,125	0,083	0,073	0,516	0,028
0,160	0,150	0,132	0,717	0,051
0,200	0,252	0,223	0,892	0,089
0,250	0,410	0,365	1,057	0,149
0,315	0,650	0,583	1,222	0,243
0,400	0,987	0,894	1,389	0,382
0,500	1,377	1,259	1,550	0,549
0,630	1,847	1,705	1,738	0,759
0,600	1,739	1,602	1,692	0,712
1,000	2,926	2,742	2,176	1,250
1,250	3,485	3,282	2,442	1,506
1,600	4,056	3,830	2,762	1,756
2,000	4,486	4,236	3,064	1,919
2,500	4,841	4,569	3,367	2,035
3,150	5,103	4,810	3,671	2,103
4,000	5,261	4,950	3,953	2,107
5,000	5,307	4,985	4,161	2,069
6,300	5,254	4,927	4,309	1,998
8,000	5,088	4,763	4,374	1,894
10,000	4,872	4,554	4,371	1,781

*Közismert árnyékoló anyag, adatai csak összehasonlításul

[2] A szóródás során keletkező kisebb energiájú γ-foton egyszerűsített kezeléséről lásd a „build up factor" (felhalmozódási tényező) leírását a sugárvédelemmel foglalkozó könyvekben.

gátolja az akna megvastagított része, amit „termikus védelemnek” is hívnak.) A hasadási γ-fotonok energiája zömmel az 1–2,5 MeV között van, ezért a táblázatnak elsősorban ezek a sorai érdekesek. A táblázat adatai log-log skálán is csak pontatlanul interpolálhatók, lásd pl. [17] 3. ábráján a logikailag *reciprok mennyiségek* görbéit.

A nem a reaktorban hasznosuló 5%-ot a neutrínók szállítják el valahová a világűrbe[3]. A maghasadás exergiája ennek alapján a hasadási energia 95%-a.

Az urán természetben előforduló másik izotópja, a ^{238}U páros-páros. Neutron befogás után a ^{239}U „többlet-neutronja” β^- sugárzással protonná alakul és ^{239}Pa (protaktínium) jön létre, amiből újabb β^- sugárzással ^{239}Pu keletkezik. Jellemzői: $Z = 94$, illetve $N = 145$, tehát a ^{235}U-hoz hasonlóan végbemehet a hasadás.

A tórium ^{232}Th izotópból kiindulva ^{233}U üzemanyag hozható létre, a ^{239}Pu keletkezéséhez hasonlóan. A IV. generációs atomerőművek fejlesztési céljai között [19] szerepel ennek a folyamatnak *erőművi méretekben* (1000 MW-os, sóolvadék-hűtéses MSR[4] blokk) történő megvalósítása. (Az ORNL 7,4 MW hőteljesítményű MSRE kísérleti reaktora 1961-64 között működött.)

Az exergia-analízisek célja

Az exergia fogalma az Energiagazdálkodás legutóbbi számainak mindegyikében szerepel, emlékeztetőül elegendő azt hangsúlyozni, hogy az a közeg által elvégezhető mechanikai munka *maximuma.* Eltérően az energiától, az *exergia elveszhet.* Az analízisek célja a *veszteségforrások fellelése.* – Igen jó, sok példát és feladatot tartalmazó exergia-tankönyv érhető el az interneten [20].

Egy évtizede jelent meg az exergia történetével foglalkozó [21] cikk, tehát a bibliográfiai adatai nem lehetnek naprakészek, másrészt az azóta eltelt időben a szerzők érdeklődése másfelé fordulhatott. Mégis, a közel kétezer-hétszáz bibliográfiai tétel spektrumából ki lehet emelni az 533 PP (power plants, erőművek) és a 23 NU (nuclear) indexelésűt. Ezek között olyan, amelyik mind a két indexszel jelölve van, csak három – igen régen megjelent – publikáció található, 1965-ből, 66-ból és 76-ból.

Sajnálatos, hogy a 2001-ben megjelent [22] tanulmány kimaradt a bibliográfiából. Ez a cikk egy 1981 óta működő kb. 500 MW-os szenes erőműblokkot (16,2 MPa, 538 ºC; újrahevítés 4,0 MPa, 538 ºC; hálózatra adott teljesítmény: 511 MW) hasonlít össze egy 1971-ben[5] üzembe lépett, szintén kb. 500 MW-os nyomott-nehézvizes atomerőművi blokkal (9,6 MPa, 249/292 ºC; gőzfejlesztő: 4,54 MPa (254 ºC); hálózatra: 526 MW). A cikk ismerteti mindkét erőműnek komplett energia- (entalpia-) és exergia-alapú értékelését, továbbá bevezeti a körfolyamat elhagyhatatlan részének, a kondenzátornak önálló értékelését, tehát módszertani újdonságokat is tartalmaz.

[22] adatai közül néhányat érdemes bemutatni. Ezek ismeretében a paksi jellemzők értékelése könnyebben követhető, az 500 MW-os Paks I. adatok közvetlenül összehasonlíthatók velük. (Minden számérték a hálózatra adott teljesítményre vonatkozik.)

	szenes	atom
η entalpia-hatásfok	37%	30%
ψ exergia-hatásfok	36%	30%
a 95 %-kal korrigálva (3. táblázat)		31,6%
Kondenzátorból a hűtővízzel elvitt hő aránya		
entalpiaként értelmezve	1,46	2,10
exergiaként értelmezve	0,0215	0,0399

A hűtővízzel elvitt entalpia aránya (a fogyasztókhoz eljuttatott villamos energia másfél, illetve kétszerese) magyarázza, hogy a hőerőműveket a közgondolkodásban miért tekintik energiapocsékolónak. Azt, hogy ez a hő *tényleg hulladékhő,* az exergia-arányok mutatják, hiszen a kondenzátornál történő bármilyen beavatkozás reménytelen kísérlet: az elvesző exergiát akármennyire is csökkentik, a villamos energia nyereségének abszolút értéke kicsi marad. Látszik, hogy az exergia-veszteségek okát nem a kondenzátor hűtésével kell magyarázni, azt a körfolyamat más helyein kell megkeresni.

A [23] cikk egy 1000 MW-os PWR blokk és annak fosszilis (gáz, szén) túlhevítővel kiegészített változata elemzését mutatja be. Figyelemre méltó, hogy a hibrid erőmű ψ exergia-hatásfoka javul a „csupasz” PWR blokkhoz képest, ugyanakkor a villamos energia egységköltsége is nagyobb. Az alapeset ψ exergia-hatásfokának számértéke Paks II.-ével összehasonlítható.[6]

A hasadáskor felszabaduló energia útja a munkaközegig

A hasadáskor felszabaduló energia átadódik a környezetnek, elsősorban az üzemanyag UO_2-nek. Az UO_2 entalpiájának és fejhőjének hőmérséklet-függését sokan vizsgálták, az eredményeket az IAEA publikációja foglalja össze [24]. Az 5. táblázatban az IAEA által legjobbnak talált számértékek láthatók és azoknak a javasolt formulával számolt közelítései. Az utolsó hőmérséklet-adat megfelel az UO_2 olvadáspontjának.

Az IAEA nem vette figyelembe, hogy a 5th International Conference on the Properties of Steam Londonban, 1956-ban a víz folyékony fázisának belső energiáját a hármaspontban definiálta zérusnak, hanem ettől független, a vegyészek által használt skálát alkalmazott. Vízhűtéses reaktor esetén megengedhetetlen nem a vízhez kötött adatoknak alkalmazása. A skálaválasztás következményei a 6. táblázatban láthatók. A korrigált adatokkal számolva 1 UO_2 molekula entalpiája az olvadásponton 0,000868 eV. A táblázat tartalmazza az entrópia- és exergia-értékeket is, melyek számítása a definiáló egyenletekkel történt (szilárd anyag, tehát a nyomásfüggés mellőzhető):

$$ds = \frac{dq}{T} = \frac{c_p \cdot dT}{T}$$

$$e(T, T_0) = h(T) - s(T) \cdot T_0$$

ahol s entrópia
q közölt hő
T közeg hőmérséklete
c_p fajhő
e exergia
T_0 környezeti hőmérséklet (felvéve 288,15 K = 15 ºC)

Az UO_2-ben *legalább* 10 MeV/μm energia-veszteségű hasadványok elektronmikroszkóppal megfigyelhető nyomot hagynak [25]. Az átlagosan 80 MeV energiával induló hasadványok eszerint *legfeljebb* 8 μm távolra jutnak el a hasadás helyétől. [26] szerint az útközben leadott energia az urán intenzív diffúzióját eredményezi a hasadás kb. 2-3 μm körzetében. Akármelyik adatot vesszük figyelembe, a

[3] A neutrínó-reakciók kis valószínűségét azzal szokták jellemezni, hogy ütközés nélkül tudnak áthaladni a földgömbön. – A 25 laboratórium többéves közös kutatása keretében [18] létrehozott 16 méter átmérőjű, 280 tonna töltetű folyadék-szcintillációs Borexino neutrínó-detektor a Napból érkező 6×10^{10} $cm^{-2}s^{-1}$ neutrínó-áramból az elméleti értéket méréssel igazolva 1,31 reakciót detektált *tonnánként, naponta.*

[4] Molten Salt Reactor

[5] A viszonylag alacsony paramétereket ez magyarázza

[6] A vizsgált esetben (amelyiknél a gyártó és típus nincs megadva): exergia szerint optimális ψ hatásfokok: PWR 38,5%, gázos hibrid: 46,24%, szenes hibrid: 39,72%; exergo-ekonómia szerint: 37,6%, 44,16%, 38,46%; önköltség exergiára optimálva 3,09 ¢/kWh, 3,431 ¢ ¢ /kWh, 3,495 /kWh; exergo-ekonómiai optimálással: 3,005 ¢/kWh, 3,369 ¢/kWh, 3,411 ¢/kWh.

5. táblázat. Az UO_2 IAEA által javasolt hőtechnikai adatai („számított” = IAEA formula)

T hőmérséklet	h entalpia			c_p fajhő		
	Referencia	Számított	Hiba	Referencia	Számított	Hiba
K	kJ/kg		%	J/kg/K		%
298,15	0,00	0,0010	∞	63,70	63,6925	-0,01
300,00	0,12	0,1190	-0,84	63,90	63,8759	-0,04
400,00	6,91	6,9147	0,07	71,40	71,3655	-0,05
500,00	14,30	14,2999	0,00	76,00	76,0120	0,02
600,00	22,10	22,0660	-0,15	79,10	79,1068	0,01
700,00	30,10	30,0878	-0,04	81,20	81,1915	-0,01
800,00	38,30	38,2810	-0,05	82,60	82,5762	-0,03
900,00	46,60	46,5870	-0,03	83,50	83,4799	-0,02
1000,00	55,00	54,9667	-0,06	84,10	84,0789	-0,03
1100,00	63,40	63,3976	0,00	84,50	84,5255	0,03
1200,00	71,90	71,8713	-0,04	85,00	84,9565	-0,05
1300,00	80,40	80,3925	-0,01	85,50	85,4972	0,00
1400,00	89,00	88,9781	-0,02	86,30	86,2637	-0,04
1500,00	97,70	97,6562	-0,04	87,40	87,3637	-0,04
1600,00	106,50	106,4652	-0,03	88,90	88,8976	0,00
1700,00	115,50	115,4532	-0,04	91,00	90,9586	-0,05
1800,00	124,70	124,6773	-0,02	93,60	93,6332	0,04
1900,00	134,20	134,2028	0,00	97,00	97,0009	0,00
2000,00	144,10	144,1029	0,00	101,10	101,1350	0,03
2100,00	154,50	154,4575	-0,03	106,10	106,1021	0,00
2200,00	165,40	165,3530	-0,03	112,00	111,9623	-0,03
2300,00	176,90	176,8814	-0,01	118,80	118,7694	-0,03
2400,00	189,10	189,1399	0,02	126,60	126,5707	-0,02
2500,00	202,20	202,2300	0,01	135,40	135,4073	0,01
2600,00	216,30	216,2570	-0,02	145,30	145,3136	0,01
2700,00	231,30	231,3293	0,01	156,30	156,3180	0,01
2800,00	247,60	247,5579	-0,02	168,40	168,4423	0,03
2900,00	265,10	265,0556	-0,02	181,70	181,7021	0,00
3000,00	283,90	283,9364	0,01	196,10	196,1067	0,00
3100,00	304,30	304,3152	0,00	211,70	211,6588	-0,02
3120,00	308,60	308,5808	-0,01	214,90	214,9068	0,00

6. táblázat. Az entalpia-skála nullpontjának eltérő felvétele okozta torzítás

T hőmérséklet	h-skála nullpontja: 298,15 K (IAEA)		h-skála nullpontja:273,16 K (víz hármaspontja)			
	s entrópia	e exergia	h_{3p} entalpia	h_{3p}-h eltérés	s_{3p} entrópia	e_{3p} exergia
K	kJ/kg/K	kJ/kg	kJ/kg	%	kJ/kg/K	kJ/kg
298,15	0,0000	0,0010	1,5587	∞	0,0055	-0,0141
300,00	0,0004	0,0053	1,6767	1297,25	0,0059	-0,0098
400,00	0,0199	1,1825	8,4724	22,61	0,0254	1,1674
500,00	0,0364	3,8246	15,8576	10,89	0,0418	3,8095
600,00	0,0505	7,5132	23,6237	6,89	0,0560	7,4981
700,00	0,0629	11,9730	31,6455	5,13	0,0683	11,9579
800,00	0,0738	17,0143	39,8387	4,02	0,0793	16,9991
900,00	0,0836	22,5015	48,1447	3,31	0,0890	22,4864
1000,00	0,0924	28,3374	56,5245	2,77	0,0979	28,3223
1100,00	0,1005	34,4529	64,9553	2,45	0,1059	34,4378
1200,00	0,1078	40,8021	73,4290	2,13	0,1133	40,7870
1300,00	0,1146	47,3580	81,9502	1,93	0,1201	47,3429
1400,00	0,1210	54,1145	90,5358	1,73	0,1265	54,0953
1500,00	0,1270	61,0634	99,2139	1,55	0,1324	61,0590
1600,00	0,1327	68,2343	108,0229	1,43	0,1381	68,2323
1700,00	0,1381	75,6524	117,0109	1,31	0,1436	75,6372
1800,00	0,1434	83,3574	126,2350	1,23	0,1489	83,3423
1900,00	0,1485	91,3992	135,7606	1,16	0,1540	91,3841
2000,00	0,1536	99,8362	145,6606	1,08	0,1591	99,8211
2100,00	0,1587	108,7354	156,0152	0,98	0,1641	108,7203
2200,00	0,1637	118,1706	166,9107	0,91	0,1692	118,1555
2300,00	0,1689	128,2227	178,4392	0,87	0,1743	128,2076
2400,00	0,1741	138,9783	190,6976	0,84	0,1795	138,9631
2500,00	0,1794	150,5331	203,7877	0,79	0,1849	150,5138
2600,00	0,1849	162,9757	217,8147	0,70	0,1904	162,9559
2700,00	0,1906	176,4099	232,8870	0,69	0,1961	176,3895
2800,00	0,1965	190,9329	249,1156	0,61	0,2019	190,9293
2900,00	0,2027	206,6617	266,6133	0,57	0,2081	206,6593
3000,00	0,2091	223,6985	285,4942	0,56	0,2145	223,6974
3100,00	0,2157	242,1522	305,8729	0,52	0,2211	242,1523
3120,00	0,2171	246,0226	310,1385	0,50	0,2225	246,0229

hőtechnikai számítások szempontjából a hasadványok energiájukat helyben adják át a környező UO_2 molekuláknak. Az UO_2 kristályrácsa „konvencionális cellájának” oldalhossza 0,5455 nm, négy U^{4+} és nyolc O^{2-} iont tartalmaz [27]. A néhány ezer[7] konvencionális cellát érintve a hasadványok minimum 682 eV energiát[8] adnak át az útjukba eső minden UO_2 molekulának, ami a fenti adatnak közel milliószorosa. Ezt az energiát a kristályrácsból kilökött urán- és oxigén-atomok terítik a környezetben, ami (ha van egyáltalán értelme ezt a kifejezést atomi méretekben használni) *elgőzölög* majd *folyadék-fázisba* jut. Kimondható, hogy *az exergetikai számítások felső hőmérsékleti határaként 3120 K választása lenne indokolt,* az UO_2 olvadási hőmérséklete. Ennél alacsonyabb felső határ választása ugyanolyan modellhiba, mint a gőzkazánok esetében a tűztérhőmérséklet helyett más érték használata. (Megjegyzés: Az olvadási hőmérséklet [28]-ben ismertetett elemzése[9] azt mutatta, hogy kb. 2700 K hőmérsékletig az urán atomok még nem diffundálnak, az oxigén atomok viszont igen. Közbenső hőmérsékleti adatokat a cikk nem tartalmaz, ezért csak az derül ki, hogy az urán atomok diffúziója 4100 K hőmérsékleten már jelentős. Ez már a kristályszerkezet tönkremenetelével jár, azaz a *mikroszkopikus* olvadás mintegy 1000 K-nel nagyobb hőmérsékleten történik, mint a makroszkopikusan mérhető 3120 K.)

Az UO_2 üzemanyag gyártási alapanyaga az UO_2 por. A gyártástechnológiától függ, hogy a préselt, hőkezelt tablettáknak mekkora a porozitása, így az elméleti („egykristály”) sűrűséget, és ezzel a maximális hővezetési tényezőt mennyire közelítik meg. A besugárzatlan üzemanyag hővezetési tényezőjének hőmérsékletfüggését vizsgálja a [27] cikk, a szemcse-határokon végbemenő folyamatok elemzésével.

Az UO_2 kristályrácsa károsodásának a hőtechnikai jellemzőkre – olvadáspont, hővezetési tényező, lineáris tágulás – gyakorolt hatását elemzi a [28] cikk. Ezek mindegyike közvetlen kapcsolatban van az üzemanyag-pálca épségével, vagyis a reaktor és az erőmű környezetének biztonságával.

[7] Koordináta-tengely irányban 8 μm/0,5455 nm = 14665 cella; 2 μm: 3666; 3 μm: 5500; „ferdén” a minimális értékek 8465, 2117, ill. 3175 cella.

[8] 80 MeV/(8×14665)

[9] Az alkalmazott módszer helyességét igazolja, hogy az UO_2 számított hővezetési tényezője a 300-3000 K tartományban egyezik a mért adatokkal.

Az UO_2 eleve nagyon rossz hővezető, ráadásul a hővezetési tényezőjének éppen az üzemi hőmérséklet környékén van minimuma. Emiatt a benne felszabaduló hő csak nagy hőfokkülönbséggel jut ki az üzemanyagpálca belsejéből. Ugyanakkor a maghasadás során felszabaduló gázok a tabletta anyagában diffundálva a hőfeszültségek miatt kialakuló mikro-repedésekbe jutnak el és ott összegyűlnek. Nyomásuk a nagy hőmérséklet miatt nagy, ami a repedések tágulásához vezet, ezért az üzemanyag-tabletta méretei nőnek („duzzad"). Az így feldarabolódó üzemanyag hővezető képessége tovább romlik. A romlást rendszerint a kiégés függvényében határozzák meg, amit többnyire az egységnyi tömegű üzemanyaggal fejlesztett energiával mérnek[10] (néha az üzemanyag elhasadt %-át adják meg). A [29] riport 6.6 ábrájáról leolvasott néhány adat (egység: W/m/K) jellemzi a helyzetet:

hőmérséklet	besugárzatlan	2% kiégés	4% kiégés
700 K	4,6	3,3	2,8
2000 K	2,1	1,9	1,8
3000 K	2,7	2,8	2,7

A pontosabb mért, illetve ajánlott adatok [29] 6.2 táblázatában találhatók. Ugyanott érhetők el a PuO_2 tartalmú (MOX) üzemanyagok adatai is. (Megjegyzendő, hogy [7] F.36. táblázatában a 800-1400 K tartományban a besugárzatlan UO_2 hővezetési tényezőjére lényegesen alacsonyabb adatok találhatók, mint [29] ajánlása.)

Az üzemanyag károsodásának fontosságát felismerve – az EU védnöksége alatt – már 1978-ban egy nemzetközi konferencia foglalkozott a hasadási gázok migrációjával kapcsolatos elméleti és kísérleti vizsgálatok eredményeinek összegzésével. A fentiekben vázolt folyamatok részletes és szabatosabb leírása a 350 oldal terjedelmű [30] publikációban olvasható.

Az UO_2 tabletta duzzadását a tabletta és az üzemanyag-pálca burkolata közötti rés teszi lehetővé. A résben a rendszerint hélium töltőgáz és főleg a hasadások során nagy valószínűséggel keletkező nemesgázok vannak. A gázréteg annyira vékony, hogy hővezetést lehet számolni a két határoló falnál történő hőátadás helyett.

A következő szerkezeti elem a fűtőelem burkolata. A szilárdsági és neutrongazdálkodási követelményeknek gyakorlatilag csak egy anyag, a cirkónium felel meg. Az ötvözők kiválasztása, illetve menynyiségének meghatározása drága fejlesztési tevékenység. Ennek következménye, hogy nyilvános publikációkban jószerint csak az (amerikai) Zircaloy-2 adatai szerepelnek, az orosz Zr-1%Nb ötvözetről csak egy-két cikk jelent meg, a Zr-2,5%Nb ötvözetről még kevesebb [24].

Az elemi cirkóniumtól eltérően, a cirkónium-ötvözetek α-β fázisátmenete nem egy konstans hőmérsékletnél, hanem a kb. 1100-1320 K tartományban van. A két fázis $c_p(T)$ fajhő-függvénye eltér, az átmeneti hőmérséklet-tartományban pedig kiemelkedően magas. A hővezetési tényező az átmeneti tartomány felett nem kielégítően ismert. A hőtágulási együttható a β fázisban nagyobb, mint az α fázisban. (Az adatok megtalálhatók [24]-ban.) – A bizonytalanságok miatt a burkolathőmérséklet tervezett értéke normál üzemállapotban a fázisátmeneti hőmérséklet-tartomány alatt van.

Az utolsó lépés a hűtőközegbe történő hőátvitel. A tiszta víz hőtechnikai adatai kellően ismertek (pl. [31]), de a reaktor hűtővizében sok adalékanyag, elsősorban bórsav is van. A bórsav a neutrongazdálkodásban nagy szerepet játszik: amíg a reaktorban ki nem égett üzemanyag (is) van, a neutronfelesleget nem szabályozórudakkal, hanem a $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ reakció felhasználásával nyeletik el.[11] Az α részecske a hélium atommagja (gázfejlődés a hűtőközegben), a lítium pedig a legreakcióképesebb alkáli földfém (bontja a vizet). – *Megjegyzés.* A primerköri vízkémia nem tárgya ennek a cikknek. A VVER-1200 néhány problémájával foglalkozik az [4] előadás.

A reaktor hűtővize a gőzfejlesztőbe jut. A szekunder oldalon a hőmérséklet gyakorlatilag független a helytől, a primer oldalon pedig a csövezés mentén monoton csökken. A véges, helyfüggő hőmérséklet-különbséggel történő hőátvitel veszteségforrás. A blokk élettartama alatt előforduló cső-hibák „javítása" a hibás cső ledugózával történik. A csökkenő hőátadó felület miatt ugyanakkora teljesítmény átadásához növekvő hőfokkülönbségre van szükség, ami természetesen a veszteség növekedésével jár. Ennek numerikus bemutatására alább kerül sor.

A cikk folytatása a következő számban

Hivatkozások

[1] http://www.atomeromu.hu/hu/rolunk/Lapok/default.aspx

[2] MVM Paks II. Zrt. Új atomerőművi blokkok létesítése a paksi telephelyen. Környezeti hatástanulmány. ERBE, Budapest, 2014. http://www.mvmpaks2.hu/hu/Dokumentumtároló/Környezeti%20Hatástanulmány.pdf

[3] Nagy S.: Hogyan készül Paks2. Fórum az atomerőművi kapacitás fenntartásáról. Budapest, 2014. november 12. http://eszk.org/documents/archivum/nagy_sandor_eszk_eloadas_paks2_forum.pdf

[4] Ősz J.: A VVER-1200 vízüzemének, vegyészetének, radioaktív hulladékkezelésének szakmai és biztonsági elemzése, értékelése, hatósági kritériumok megfogalmazása. TSO Szeminárium 2015. április 29. http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/371C5096A6F4CB45C1257E580024FCCB/$FILE/104_20150429_OAH_Ősz_János.pdf

[5] H. Hirsch, A. Y. Indradiningrat: Safety of new nuclear power plants. http://www.pakskontroll.hu/sites/default/files/documents/_workshop_paksii_presentation_cervus_08-10-2014_final.pdf

[6] Csom Gy.: Atomerőművek üzemtana I. A reaktorfizika és -technika alapjai. Egyetemi tankönyv/szakkönyv. Műegyetemi Kiadó, 1997. ISBN 963 420 511 1

[7] Csom Gy.: Atomerőművek üzemtana II. Az energetikai atomreaktorok üzemtana. Egyetemi tankönyv/szakkönyv. Műegyetemi Kiadó. 1. rész 2005, ISBN 963 420 828 2; 2. rész 2005, ISBN 963 420 829 0.

[8] Csom Gy., Szécsényi Zs., Komlóssy Gy., Eigner T.: Atomerőművek üzemtana II. Az energetikai atomreaktorok üzemtana. Egyetemi tankönyv/szakkönyv. Műegyetemi Kiadó. 3. rész 2012, ISBN 978 963 893 708 7.

[9] Csom Gy., Trampus P., Hózer Z., Vajda N., Beliczai B., Zsolnay É.: Atomerőművek üzemtana II. Az energetikai atomreaktorok üzemtana. Egyetemi tankönyv/szakkönyv. Műegyetemi Kiadó. 4. rész 2012, ISBN 978 963 893 709 4.

[10] N. Lior: Energy, exergy and thermoeconomic analysis of the effects of fossil-fuel superheating in nuclear power plants. Energy Convers. Mgmt. 38(1997)15.

[11] The International System of Units (SI), 8th edition 2006, Organisation Intergouvernementale de la Convention du Mètre. BIPM, Sevres Cedex, France. http://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/

[12] D. G. Madland: Total prompt energy release in the neutron-induced fission of 235U, 238U, and 239Pu. Nuclear Physics A 772(2006)113–137

[13] K-H. Schmidt, B. Jurado: Prompt-neutron and prompt-gamma emission from a general description of the fission process. OECD NEA 2011, Report JEF/DOC 1423

[14] F. Tania, P.-A. Haldib, D. Favrat: Exergy-based comparison of the nuclear fuel cycles of light water and generation IV reactors.

[10] Becslésként használható összfüggés: 1 kg ^{235}U fogy el 1 GWd hő fejlesztése során, ez indokolja a nap, mint időegység választását. (A publikációkban található néhányszor 10 MWd/kg adatok az adott dúsítású üzemanyag urán-tartalmára vonatkoznak.)
$(6{,}02214129\times10^{26}/235)\times(200\times10^{6})\times1{,}60217653\times10^{-19}$ J/kg = $8{,}2115\times10^{13}$ Ws/kg = 0,95 Gwd/kg.

[11] Gadolíniumnak az UO_2-höz adagolásával (kiégő méreg) ugyanez érhető el.

http://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/1092351/mod_resource/content/0/exergy_analysis_ucycle.pdf

[15] D. E. Cullen, J. H. Hubbell, L. Kissel: EPDL97: the Evaluated Photon Data Library, '97 Version, Lawrence Livermore National Laboratory, report UCRL-50400, Vol. 6, Rev. 5.
Az adattár 2014-es kiadása: http://www-nds.iaea.org/epics2014/ENDF/EPDL.ALL

[16] E. J. Szondi: Temperature fields and thermal stress fields in radiation shielding. Periodica Polytechnica, Electrical Engineering, 26(1982)1. HU ISSN 0324–6000.

[17] G. D. Lassahn, A. G. Stephens, D. J. Taylor, D. B. Wood: X-Ray and Gamma-Ray Transmission Densitometry.
http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/11/500/11500068.pdf

[18] O. Yu. Smirnov (előadó, a 97 szerző nevében): Measurement of neutrino flux from the primary proton-proton fusion process in the Sun with Borexino detector. International Workshop on Prospects of Particle Physics: "Neutrino Physics and Astrophysics", JINR, INR. 1 February - 8 February 2015, Valday, Russia

[19] A technology roadmap for Generation IV nuclear energy systems. US DOE Nuclear Research Advisory Committee. Report GIF-002-00. Dec. 2002.; http://genivroadmap2002.pdf

[20] G. Wall: Exergetics. Bucaramanga 2009. http://www,exergy.se/ftp/exergetics.pdf

[21] E. Sciubba, G. Wall: A brief Commented History of Exergy from the Beginnings to 2004. Int. J. of Thermodynamics 10(2007)1,ISSN 1301-9724

[22] M. A. Rosen: Energy- and exergy-based comparison of coal-fired and nuclear steam power plants. Exergy Int. J. 1(3) (2001) 180

[23] H. Sayyaadi, T. Sabzaligol: Comprehensive exergetic and economic comparison of PWR and hybrid fossil fuel-PWR power plants. Energy 35(2010)2953.

[24] Thermophysical properties database of materials for light water reactors and heavy water reactors Final report of a coordinated research projekt 1999–2005. IAEATECDOC-1496, 2006.

[25] T. S. Noggle, J. O. Stiegler: Electron microscope observations of fission fragment tracks in thin films of UO_2. J. Applied Physics 31(1960)2199

[26] J. L. Wormwald, A. I. Hawari: Exploring fission enhanced diffusion of uranium in uranium dioxide using classical molecular dynamics simulations. The Minerals, metals & Materials Society, Annual Meeting supplemental proceedings, 2014.

[27] H. Kim, M. H. Kim, M. Kaviany: Lattice thermal conductivity of UO2 using ab-initio and classical molecular dynamics. J. Applied Physics 115(2014)123510

[28] Satoshi Motoyama, Yasushi Ichikawa, Yasuaki Hiwatari, Akira Oe: Thermal conductivity of uranium dioxide by nonequilibrium molecular dynamics simulation. Physical Review B 60(1999)1

[29] S. G. Popov, J.J. Carbajo, V. K. Ivanov, G. L. Yoder: Thermophysical properties of MO_X and UO_2 fuels including the effect of irradiation. ORNL/TM-2000/351. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, USA.; http://www.osti.gov/bridge

[30] Fission gas behaviour in nuclear fuels - Proceeding of the Workshop held at the Joint Research Centre, Karlsruhe, Germany, October 26-27, 1978. European Applied Research Reports, Nuclear Science and Technology Section, 1(1979)1. ISSN 0379-4229.

[31] Szondi E. J.: Eszköz a víz és vízgőz jellemzőinek számítására (a Fortran h2o programcsomag). Energiagazdálkodás 55(2014)4. HU ISSN 0021-0757

[32] BME Nukleáris Technikai Intézet oktatási segédanyaga.
http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/czifrus/Hoforras.pdf

[33] P. I. Lavrenyuk, A. B. Dolgov: The development and improvement of the nuclear fuel for power plants' cores. Ninth International Scientific and Technical Conference «Safety, Efficiency and Economics of Nuclear Power Industry» Moscow, 21-23 may 2014
http://mntk.rosenergoatom.ru/mediafiles/u/files/2014/Plenar_eng/6_Dolgov_TVEL_Development_and_improvement_of_the_nuclear_fuel_for_power_plants'_cores_.pdf

[34] G. Passage, S. Stefanova, P. Petkov, A. S. Shcheglov, V. N. Proselkov: Computational investigation of the temperature and geometric characteristics of VVER fuel in the Kozlodui Nuclear Power Plant (Bulgaria) under normal operating conditions. Atomic Energy 101(2006)5.

[35] M. Rahgoshay, Y. Rahmani: Study of temperature distribution of fuel, clad and coolant in the VVER-1000 reactor core during group-10 control rod scram by usingdiffusion and point kinetic methods. Nukleonika 52(2007)4

[36] R. Othman: Steady state and transient analysis of heat conduction in nuclear fuel elements. MSc thesis. Department of Numerical Analysis and Computer Science, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
http://www.nada.kth.se/utbildning/grukth/exjobb/rapportlistor/2004/rapporter04/othman_rozhgar_04051.pdf

[37] Trampus P.: Atomreaktorok anyagai. Debreceni Egyetem Műszaki Kar, 2009.
http://www.mk.unideb.hu/userid/trampus/Atomreaktorok_6ea.ppt

[38] Th. W. Tromm: Moderne Kernkraftwerkstechnologie – ein Überblick
https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/bvs/bv_nordbaden_dateien/20091208_ModerneKernkraftwerkstechnologie_Vortrag.pdf

[39] MVM Zrt: Új atomerőművi blokkok létesítése. Előzetes konzultációs dokumentáció. ERŐTERV, 2012 okt. 26.
http://www.mvmpaks2.hu/hu/Dokumentumtarolo/EKD-HUN.pdf

[40] Jiwei Wang: Developing a high thermal conductivity nuclear fuel with silicon carbide additives. University of Florida, 2008.

[41] P. B. Weisensee: Thermal conductivity of UO2 and U3O8 epitaxial layers damaged by ion irradiation. University of Illinois, 2011

[42] C. Unal, C.J. Stull, B.J. Williams: Parametric uncertainty in a thermal conductivity model of uranium oxide light water nuclear reactor fuel. Review of Applied Physics 2(2013)3.

[43] G. Subhash, F. Goldner: Development of innovative high thermal conductivity UO_2 ceramic composites fuel pellets with carbon nano-tubes using spark plasma sintering, NEUP, US Dept. Of Energy, 2014.

[44] T. Uchida, T. Sunaoshi, M. Kato, K. Konashi: Thermal properties of UO_2 by molecular dynamics simulation. Progress in Nucl. Sci. Techn. 2(2011)598

[45] PLUS7 fuel design for the APR1400. APR1400-F-M-TR-12001-NP Rev.0. November 2012. http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1301/ML13018A139.pdf

[46] ROSATOM Fuel Company TVEL – reliable supplier of nuclear fuel
http://www.atomeks.ru/mediafiles/u/files/Asia_2014/materials/02_Fuel_Company_TVEL_reliable_supplier_of_nuclear_fuel.pdf.

[47] http://www.tvel.ru/wps/wcm/connect/tvel/tvelsite.eng/products/nuclearproducts/vverreactorfuel/

[48] H. Petersen: The properties of helium: density, specific heats, viscosity, and thermal conductivity at pressures from 1 to 100 bar and from room temperature to about 1800 K. Danish Atomic Energy Commission, 1970.
http://www.ewp.rpi.edu/hartford/users/papers/engr/ernesto/schofj/EP2010/Other/6-References/RISO224.pdf

[49] R. A. Svehla: Transport coeficients for the NASA Lewis Chemical Equilibrium Program. April 1995. http://www.grc.nasa.gov/WWW/CEAWeb/TM-4647.pdf

[50] Song Hi Lee: Equilibrium Molecular Dynamics Simulation Study for Transport Properties of Noble Gases: The Green-Kubo Formula. Bull. Korean Chem. Soc. 34(2013)10

"Egyetlen joule energia se vesszen kárba !"

Az ETE, tagjainak közreműködésével, az Energiahatékonysági Szakosztályának vezetésével vállalja energetikai auditok készítését, megrendelésre az ISO 50 001 minősítésre felkészítést.
Érdeklődés a *titkarsag@ete-net.hu* címen.

Időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléssel együttműködő tároló kapacitások gazdasági szempontú elemzése

Börcsök Endre
borcsok.endre@energia.mta.hu

Osán János
borcsok.endre@energia.mta.hu

Az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés a világ minden pontján hálózatfejlesztési beruházásokkal és a szabályozó kapacitások mennyiségének növelésével jár együtt. Munkánk során az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléshez kapcsolódó tároló kapacitások gazdasági környezetét vizsgáltuk meg. A téma kiemelt figyelmet érdemel, hiszen a megújuló alapú energiatermelés területén, a 2009/28/EK irányelv alapján elvárt növekedés elsősorban biomasszára alapozva egyre nehezebben valósítható meg. Ezek alapján az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés részarányának növelése hosszútávon elkerülhetetlennek tűnik, ehhez azonban erőfeszítéseket kell tenni a termelési, illetve a fogyasztói oldal időstruktúrájának összeegyeztetésére, a változékonyság csökkentésére. Ebben a folyamatban kulcsszerepük lehet az „okos hálózatoknak" (smart grid). Az okos rendszerekben a hálózatot mindkét (termelői és fogyasztói) irányban igénybe vevő, háztartási méretű fogyasztó-, termelő- és tárolóegységek időbeli összehangolásának mozgatórugója a gazdasági érdek. Tanulmányunkban olyan villamosenergia-árszerkezetet alakítottunk ki, mellyel az időjárásfüggő villamosenergia-termelés tároló kapacitásokkal történő kiegészítése gazdaságossá tehető. Eredményeink útmutatást adhatnak az okos rendszerek gazdasági környezetének kialakításához is.

*

International experiences have clearly demonstrated the previous presumption that integration of intermittent renewable energy production (wind and PV) can largely be supported by the use of energy storage. The present study focuses on the cooperation between stochastic renewable energy production and energy storage units from economic aspects. Actuality of this investigation arises from the expected increase of the share of renewable energy production in the future, fixed in a 2009/28/EC directive. This expansion cannot be realized without intense increase of stochastic renewable energy production. The most promising means in synchronization of fluctuating energy demand and the stochastic renewable energy production is the smart grid system development. Smart grid system operates with real energy storage and with demand side management (virtual storage). Both methods need financial incentives. The aim of the present work is to elaborate a dynamic tariff structure, based on spot (day-ahead) electricity prices, which would preserve the effect to encourage investments, and would decrease the public burden at the same time.

* * *

Az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés a világ minden pontján hálózatfejlesztési beruházásokkal és a szabályozó kapacitások mennyiségének növelésével jár együtt. Munkánk során az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléshez kapcsolódó tároló kapacitások gazdasági környezetét vizsgáltuk meg. A téma kiemelt figyelmet érdemel, hiszen a megújuló alapú energiatermelés területén elvárt növekedés elsősorban biomasszára alapozva egyre nehezebben valósítható meg. A főtermékből előállítható folyékony tüzelőanyagok energia potenciálja jelentősen csökken, ha mezőgazdasági területeket energetikai célokra nem használunk fel, hiszen a termelésből kivont területek maximális felhasználásával csupán 14,8-24,6 PJ állítható elő [1][2].

1. táblázat. Az erdészeti és mezőgazdasági adatok ismeretében becsült primer energiapotenciál értékek 2020-ra [1][2]

Maximálisan letermelhető fa energia-tartama [PJ/a]	Betakarítható mezőgazdasági melléktermék energia potenciál [PJ/a]	Főtermékből előállítható olaj energia potenciál [PJ/a]	Főtermékből előállítható etanol energia potenciál [PJ/a]
77,3	117,0	29,1	145,8

A fő gondot nem csak a szoros korlátokkal rendelkező fenntartható potenciál értékek jelentik, melyek hazánk esetében a távlati megújuló hasznosítási célszámok ismeretében szerénynek mondhatók, hanem elsősorban az, hogy a biomassza magasabb rendű vegyipari, illetve biotechnológiai alapanyagként is felhasználható. (A 2009/28/EK irányelv alapján a megújuló energiaforrásokból előállított energia részarányaira vonatkozó célkitűzés 2020-ra 14,65%, ami körülbelül 116,5 PJ-nak felel meg fűtés-hűtés, villamos energia és közlekedés ágazatokban. A 2030-ra tervezett 20%-os részarány még jelentősebb primer energiaforrás igényt jelent [3].) Ezen okok miatt az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés részarányának növelése hosszútávon elkerülhetetlennek tűnik, ehhez azonban erőfeszítéseket kell tenni a termelési, illetve a fogyasztói oldal időstruktúrájának összeegyeztetésére, a változékonyság csökkentésére. Ebben a folyamatban kulcsszerepük lehet az „okos hálózatoknak" (smart grid). Az okos rendszerekben a hálózatot mindkét (termelői és fogyasztói) irányban igénybe vevő, háztartási méretű fogyasztó-, termelő- és tárolóegységek időbeli összehangolásának mozgatórugója a gazdasági érdek. Tanulmányunkban olyan villamosenergia-árszerkezetet alakítottunk ki, mellyel az időjárásfüggő villamosenergia-termelés tároló kapacitásokkal történő kiegészítése gazdaságossá tehető. Eredményeink útmutatást adhatnak az okos rendszerek gazdasági környezetének kialakításához is.

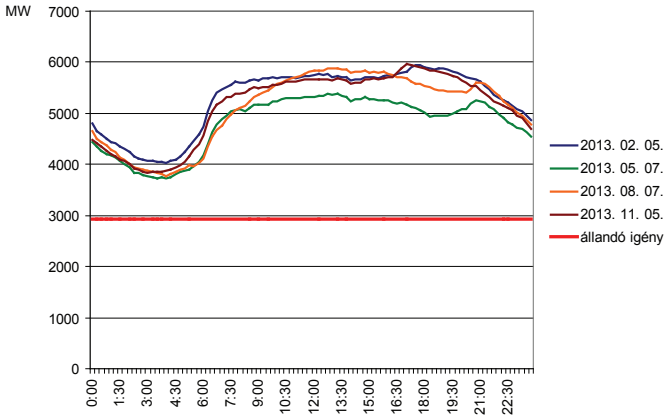
Villamosenergia-termelés

Munkánk során a MAVIR 2013-as [4], negyedórás felbontású, teljes éves terhelési és aggregált szél teljesítmény adatait, valamint az Óbudai Egyetem [5], hasonló időszakból származó fotovillamos teljesítmény adatsorának (Tesco Megapark 100 kW-os rendszerének feldolgozott mérési eredményeire támaszkodó) negyedórás értékeit használtuk fel. Modellünkben a szél, illetve fotovillamos beépített kapacitásokat szabad változóként kezeltük és eltekintettünk a jövőbeni növekvő időjárásfüggő megújuló villamos-energiafejlesztés diverzifikált voltától. Az éves termelési adatsorok értékeit egyszerű skalár szorzóval növeltük vagy csökkentettük, így figyelmen kívül hagytuk

a nagyobb földrajzi területről származó termelési időfüggvények aggregálásának simító hatását (portfolió hatás). A skalár szorzók megválasztásához az éves szinten, fotovillamos úton vagy szélgenerátorral előállított összes energiát a fogyasztók által felhasznált energia előzetesen definiált részével megegyező nagyságúnak vettük, csak időbeli felbontásban engedtünk eltérést. Az éves termelés negyedórás teljesítmény adataiból kiindulva a megtermelt energia mennyiségét negyedórás felbontásban kiszámolva, 35 040 adatból álló vektorokat definiálhatunk, a termelt szél $w(w_1 \ldots w_n)$ és fotovillamos energia $p(p_1 \ldots p_n)$ adataira.

Változó terhelés alakulása

Számításainkban a változó terhelés leképezéséhez a 2013. évi terhelések minimummal, mint állandó igénnyel csökkentett értékét (2926 MW) vettük alapul (1. ábra), ami éves szinten 61,12 PJ-nyi (16,97 TWh) energiatermelést jelent. A termelési oldalhoz hasonlóan vektorokkal történő leírás esetén a teljes fogyasztást $f(f_1 \ldots f_n)$ az állandó igénnyel $a(a_1 \ldots a_n)$ csökkentve kapjuk a változó terhelés energia igényét $v(v_1 \ldots v_n)$. (Tehát $v=f-a$, ahol minden $i \in [1;n]$ $a_i=2926 \cdot 0{,}25$ MWh.)



1. ábra. **Jellegzetes hétköznapi (kedd) terhelési görbék a 2013-as évből**

Célunk a változó terhelés időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléssel történő minél nagyobb arányú kiszolgálása volt. (A nem időjárásfüggő megújuló alapú energiatermelés esetén az ideális kihasználási óraszám elérése érdekében zsinórtermelést feltételeztünk, így ezek a változó terhelés lefedéséhez nem kerültek felhasználásra.) Ezt a célt két jól ismert úton keresztül valósíthatjuk meg: a fogyasztók befolyásolásával, mint egyfajta virtuális tároló kapacitással csökkenthetjük a változó terhelés teljesítmény intervallumát, illetve valós tároló kapacitások rendszerbe illesztésével lehetőségünk van a megújuló villamosenergia-termelést időben igazítani a változó terhelés profiljához. Mindkét út nélkülözhetetlen kelléke az ösztönző gazdasági környezet kialakítása. A hazai gyakorlat statikus tarifákkal dolgozik (csúcs, völgy, mélyvölgy) melyek nem biztosítanak kellően rugalmas gazdasági hátteret a vázolt célok eléréséhez (2. táblázat).

Tanulmányunkban olyan gazdasági megközelítést igyekeztünk kialakítani mely a beruházókat érdekeltté teheti energiatároló kapacitások telepítésében, azonban eredményeink kiindulási pontot jelenthetnek a fogyasztók befolyásolása gazdasági megvalósításának kutatása során is. Összehasonlító számításaink során az energiatőzsde (HUPXDAM) 2013. évi másnapi (day-ahead), órás áraira támaszkodtunk az előzőekben ismertetett kötelező átvételi árak mellett. Az energiatőzsde másnapi árai szerénynek mondhatók az átvételi árakhoz képest, hiszen az éves átlagban számolt, 3-4 óra közötti minimális

2. táblázat. A 2013. évi megújuló energiával előállított villamos energia, kötelező átvételi árai a 2007 után telepített erőművekre [6]

2013	csúcs	völgy	mélyvölgy
téli	06:30-22:30	22:30-02:00 és 05:30-06:30	02:00-05:30
nyári	07:30-23:30	23:30-03:00 és 06:30-07:30	03:00-06:30
naperőmű (Ft/kWh)	32,18	32,18	32,18
szélerőmű (<20MW) (Ft/kWh)	35,96	32,18	13,13
háztartási méretű termelés-fogyasztás (Ft/kWh)	44,97	44,97	44,97

6,20 Ft/kWh és a 19-20 óra közötti 18 Ft/kWh között alakultak. Az adott intervallumtól azonban esetenként szélsőséges eltérések is jelentkeztek negatív és pozitív irányban egyaránt.

Szél és fotovillamos energiatermelés és a változó terhelés korrelációja

A 2013-as negyedórás terhelési és termelési adatsorának összehasonlítására a matematikai módszerek széles eszköztára felhasználható, legyen szó periodicitások meghatározásáról vagy akár faktorizációról. Jelenlegi munkánkban a legegyszerűbb megközelítéssel éltünk és az adott pillanatban termelt és felhasznált teljesítmények korrelációját vizsgáltuk. Az idősorok mellőzésével megvalósított vizsgálatot a szél sztochasztikus jellege is indokolja. Az éves változó terhelés energiaigényét időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléssel biztosító megoldásoknál

$$\left(\sum_{i=1}^{n} \alpha \cdot w_i = \sum_{i=1}^{n} v_i \text{ illetve } \sum_{i=1}^{n} \beta \cdot p_i = \sum_{i=1}^{n} v_i \right)$$

az alacsony kihasználási óraszám miatt az energiatermelés éves maximumaival

$$\left(\max_i \{\alpha \cdot w_i\} \text{ és a } \max_i \{\beta \cdot p_i\} \right)$$

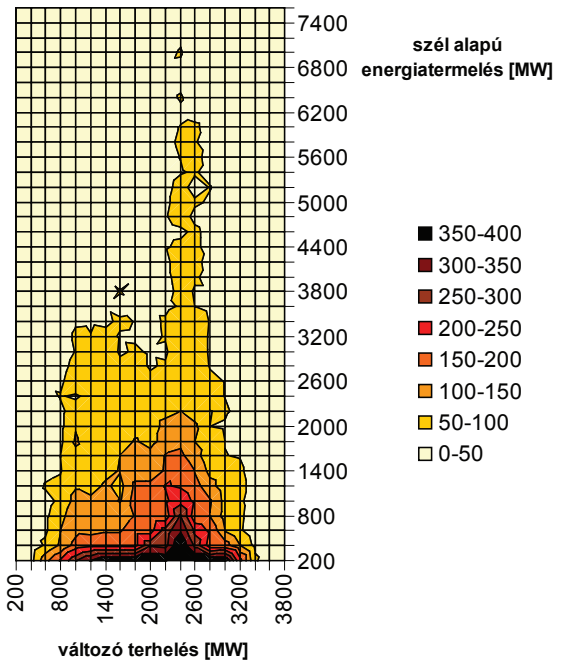
számolt szükséges beépített teljesítmények jóval nagyobbak (szél esetén 7400 MW, PV esetén 12 250 MW) a változó terhelés 3570 MW-os csúcsteljesítményénél. Az adatsorok kapcsolatát vizsgálva ($\alpha \cdot w_i - v_i$) a szélerőművi villamosenergia-termelés sztochasztikus voltának eleget téve gyakorlatilag nem korrelál a terhelési adatokkal, míg a fotovillamos adatsor ($\beta \cdot p_i - v_i$) szerény ($r = 0{,}25$) korrelációt mutat a változó terheléssel. (2. ábra).

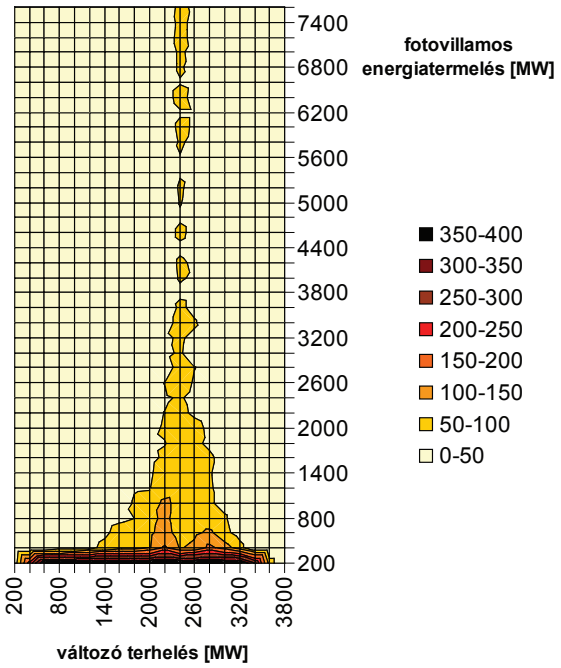
A 2013-as adatsorok közvetlen összehasonlítása és korrelációjuk meghatározása lehetőséget teremtett optimalizációs feladatként az ideális szél- és fotovillamos beépített teljesítmény arány meghatározására (olyan $0 \le \alpha'$ és $0 \le \beta'$ kiszámítására, melyre

$$\sum_{i=1}^{n} (\alpha' \cdot w_i + \beta' \cdot p_i) = \sum_{i=1}^{n} v_i \quad \text{és}$$

$$\sum_{i=1}^{n} \left| v_i - (\alpha' \cdot w_i + \beta' \cdot p_i) \right| \cdot [\operatorname{sgn}(v_i - (\alpha' \cdot w_i + \beta' \cdot p_i)) + 1] \cdot 0{,}5 = \min,$$

tehát az alultermelést minimalizáljuk). Számításaink alapján a szél beépített teljesítményét a fotovillamos 1,26 szorosának érdemes választani (4990 MW szél és 3960 MW fotovillamos beépített kapacitás) ami azonban az előállított energia terén akár 2,1-szeres eltérést is eredményezhet a szél javára. (3. ábra)

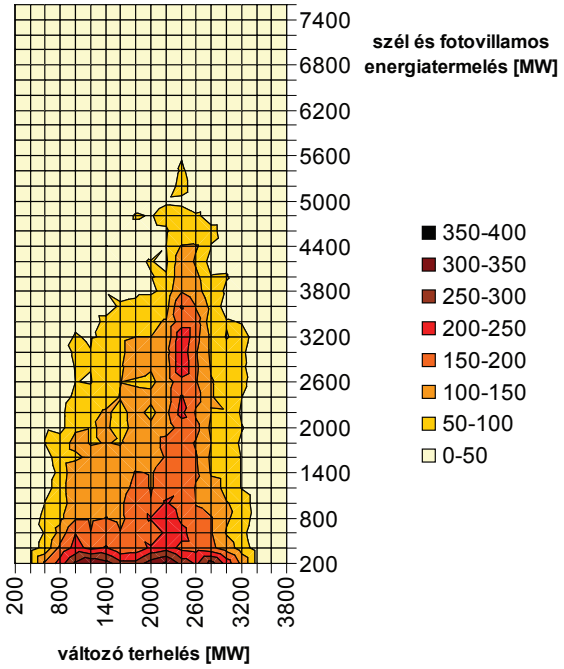




2. ábra. **A változó terhelés és az éves szinten egymással megegyező nagyságú energiát előállító, időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés teljesítményi egybeeséseinek gyakorisága, korrelációs táblája**

A vegyes villamosenergia-termeléssel a változó terhelés nem fedhető le maradéktalanul, hiszen a korrelációjuk csupán csekély mértékben változott (r=0,18). A változó terhelés fölötti többlettermelés éves szinten 20 PJ (5,55 TWh) és hasonló nagyságú hiánnyal kell szembenéznünk az alacsony termelésű időszakokban, hiszen modellünkben az éves energiamérleg nulla

$$\left(\sum_{i=1}^{n} v_i - \sum_{i=1}^{n} (\alpha' \cdot w_i + \beta' \cdot p_i) = 0\right).$$



3. ábra. **A változó terhelés és az éves szinten egymással megegyező nagyságú energiát előállító, időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés teljesítményi egybeeséseinek gyakorisága, amennyiben a fejlesztett energia részaránya 68%-ban szél és 32%-ban fotovillamos forrásból származik**

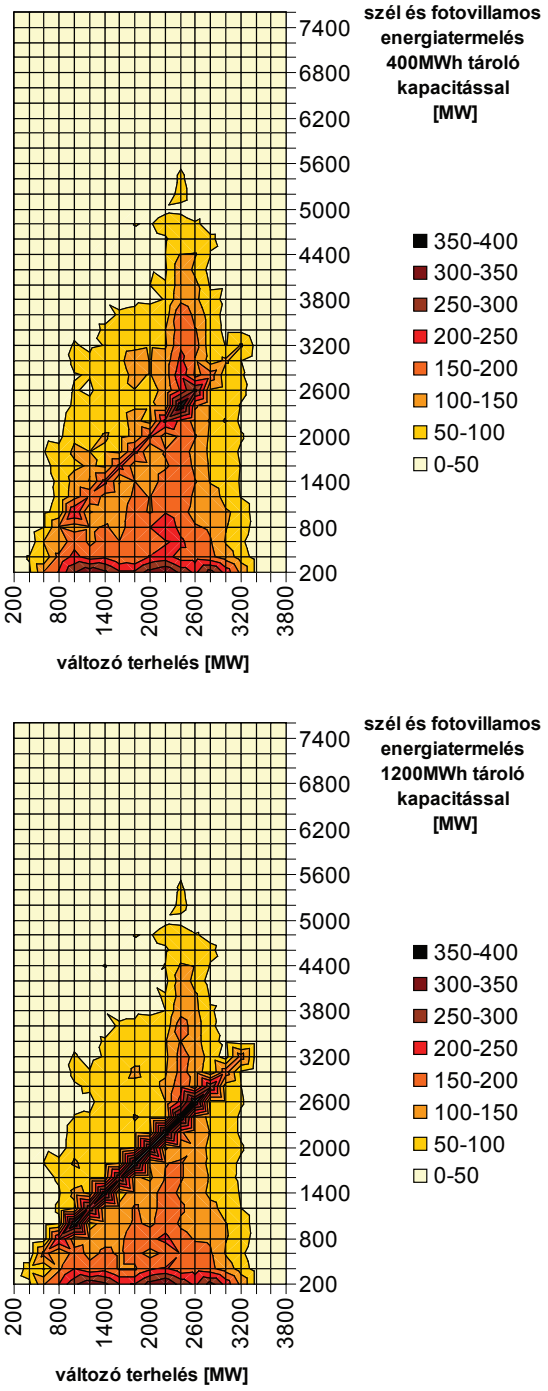
Tárolókapacitás rendszerbe iktatása

A fő problémaként meghatározható alacsony korreláció növelésének kézenfekvő lehetőségét nyújtja a villamoshálózat valós és virtuális energiatárolókkal történő bővítése. Már a tárolókapacitások legegyszerűbb vezérlésével is (többletnél tölt, hiánynál kisüt és nem törekszik völgy feltöltésre, csúcs levágásra) a változó igényhez jobban illeszkedő termelési profilt kapunk (4. ábra) melyben a fogyasztás és termelés nagyságának egybeesése gyakoribbá válik, így az identikus komponens felerősödik. Az átlós identikus komponens fölerősödése a sűrűsödő termelési és terhelési egybeeséseket mutatja.

Gazdasági számításaink megvalósításához azonban részletesebb, a termelési és a terhelési oldal előrejelzéseit figyelembe vevő tárolókapacitás vezérlést alkalmaztunk. Modellünkben valós energiatárolás szimulálásával dolgoztunk, és Li-ion akkumulátorok töltési karakterisztikáját illetve gazdasági adatait használtuk fel a piacon elérhető számos lehetőség közül. A fölhasznált adatokat úgy kezeltük, hogy felső becslést jelentsenek a „kisebb" (0.1-1 MWh) tárolókapacitások beruházásának megtérülés számításai során. Az akkumulátor-egységek modellezésénél a következő feltételeket rögzítettük:

1. Csak a megújuló energiaforrást használtuk töltésre
2. Az akkumulátor veszteségét 10%-osnak vettük
3. A töltés és kisütés karakterisztikája alapján, töltésnél a kapacitás 20%-át engedélyezzük óránként, míg kisütésnél 50%-ot.
4. A megújuló energiatermelésre vonatkozó napi előrejelzés abszolút hibáját 10%-nak vettük.
5. Naponta egyszeri kisütést engedélyeztünk.

Az első korlátozást csak a megújuló energiaforrások hasznosításának zárt rendszerben történő felhasználása miatt építettük modellünkbe. A második és harmadik feltételeknél átlagos akkumulátorok műszaki paramétereiből indultunk ki. A negyedik és ötödik feltételek a gazda-

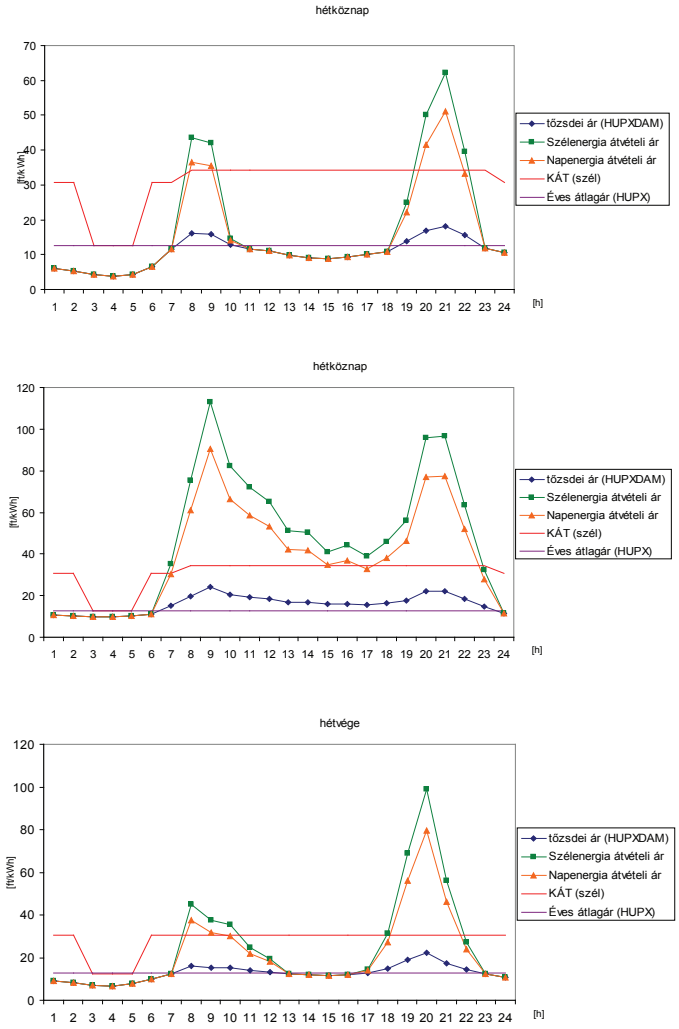


4. ábra. **A változó terhelés és az éves szinten egymással megegyező mennyiségű energiát előállító, időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés teljesítményi egybeeséseinek gyakorisága (68% szél, 32% fotovillamos energia és a tároló kapacitás mérete 400 MWh, illetve 1200 MWh)**

sági számításokat készítik elő és a jelenlegi támogatási rendszer napi ciklusával való összehasonlíthatóságot szolgálják. A negyedik feltételhez kapcsolódóan meg kell említeni, hogy a tárolókapacitás vezérléséhez a termelésre vonatkozó napos előrejelzés mellett a másnapi terhelés menetrendjének ismerete is szükséges. Mivel számításainkhoz nem rendelkeztünk az előrejelzett termelési értékekkel ezért a 10%-os abszolút hiba alapján a megvalósuló termelési adatsor 80%-ában maximáltuk a töltésre felhasználható energiát. (A legrosszabb esettel számolva, a megvalósult termeléshez viszonyítva ~10%-al kevesebb is lehetett az előző napi tervezett érték és ehhez viszonyítva további ~10%-al alacsonyabb termelés is elképzelhető.) Modellezésünk során közvetlen terhelés-előrejelzést nem alkalmaztunk, hanem kihasználtuk, hogy a tőzsdei árak jól korrelálnak a rendszerterheléssel (r = 0,657), így másnapi, day-ahead árakat használtunk a vezérlés napi ciklusának kialakításánál. A tárolókapacitások vezérlésének kialakításánál maximális profit elérésével (legalacsonyabb áraknál tölt és legmagasabb áraknál elad) igyekeztünk szűkíteni a változó terhelés teljesítmény intervallumát, völgy feltöltés és csúcs levágás megvalósításával.

Dinamikus tarifarendszer

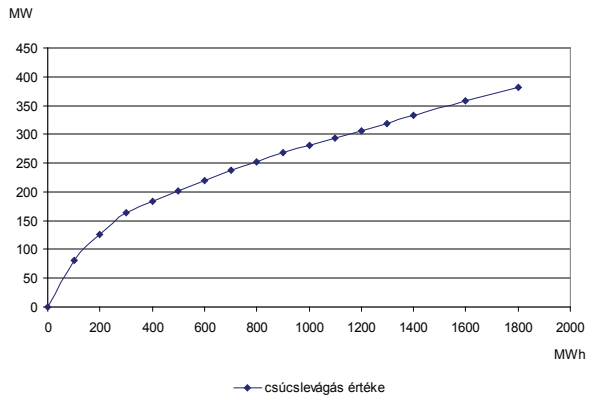
Hazánk a megújuló energiaforrásokból előállított energia részarányaira vonatkozó célkitűzések teljesítésekor elsősorban az időjárásfüggő villamosenergia-termelésre építhet hosszútávon. A kötelezően növelendő megújuló energiatermelés leginkább a jól szabályozható gázerőműveket szorítja ki a piacról. Célunknak az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termeléssel együttműködő valós vagy virtuális tároló kapacitások kialakításának gazdasági ösztönzését határoztuk meg, melyekkel a szabályzási piacon keletkező űr betölthető. Megválaszolandó kérdés azonban, hogy milyen forrásból kerülnek finanszírozásra az újonnan rendszerbe integrált tároló kapacitások. Ehhez érdemes megvizsgálni, hogy a kiszorított szabályzó erőművek fenntartási költsége nagyságrendileg milyen arányban van a valós vagy virtuális tárolókapacitások költségével. A költségek meghatározása mellett egy beruházásösztönző tarifarendszert alakítottunk ki, melynél alapvető szempont volt, hogy a tároló kapacitást nem üzemeltető termelő vagy fogyasztó gazdasági környezete változatlan maradjon. A megvalósításhoz kiindulópontot nyújtott a hazai viszonyok között már működő, a megújuló energiaforrások felhasználására alkalmazott kötelező átvételi rendszer. Mivel az átvételi rendszer kedvezményezettjei a háztartási méretű beépített kapacitásoknál nagyobb ipari létesítmények, így jelen megközelítésben csak valós tárolókapacitások telepítésével foglalkoztunk. A világban alkalmazott támogatási rendszereknek két fő ága ismert a kötelező átvételi támogatás, mely nem kellően rugalmas ahhoz, hogy a terhelési oldalhoz igazodjon és a zöld bizonyítvány rendszer mely tőzsdei árakon alapszik, de nem támogat széles portfoliót, csak a legolcsóbb technológiáknak kedvez. Modellünkben a hazai kötelező átvételi rendszert dolgoztuk át úgy, hogy szorosan kapcsolódjon a tőzsdei árakhoz, de ne változtassa meg a megújuló villamosenergia-termelés jelenlegi támogatásának a mértékét, ugyanakkor tegye gazdaságossá a valós tároló kapacitások jövőbeli alkalmazását. Kiindulásként a 2013-as statikus KÁT átvételi és a tőzsdei árak felhasználásával határoztuk meg az éves bevételeket 500 kW-os névleges teljesítményű szél és fotovillamos egységek esetén. A kitűzött célok elérésének érdekében a KÁT rendszer alapján számolt bevétel többletet szelektíven (csak csúcs időben) használtuk föl, tehát az új rendszer alapesetben (tároló kapacitás nélkül) nem jelent sem a költségvetésnek sem az üzemeltetőnek többlet terhet, de extra profittal sem jár. A tőzsdei árhoz kapcsolt dinamikus átvételi árat úgy határoztuk meg, hogy azokban az időszakokban, amikor a tőzsdei ár az éves átlag alatt van (tehát a fogyasztás szerény), az átvételi ár megegyezik a tőzsdei árakkal. Az átlagáraknál magasabb tőzsdei árak esetén az átlagtól való eltérést egy szorzóval tovább növeljük és az átlagárhoz adjuk. A szorzó meghatározása úgy történt, hogy a termelők éves bevétele ne változzon a KÁT rendszer alapján számolt bevételhez képest. A tőzsdei éves átlagár fölötti értékek megnövelésére, a szél esetén 8,83-as a PV esetén 6,84-es szorzót kaptunk (5. ábra), ahol a PV esetén a kisebb szorzó a nappali csúcsokkal jobban átfedő termelés eredménye.



5. ábra. **2013. évi átlagos napok átvételi árainak alakulása a KÁT, a tőzsdei és a dinamikus átvételi rendszerrel. (A PV-re vonatkozó átvételi árat időszaktól függetlenül 32,18 Ft/kWh nagyságúnak vettük.)**

A dinamikus tarifarendszer sarokszámainak rögzítése után a tároló kapacitások rendszerbe illesztésével elérhető profitot mértük fel. Az előző szakaszban rögzített feltételek alapján, a tároló kapacitás szimulációjánál olyan vezérlést alakítottunk ki mely az értékesítési árak (tőzsdei, KÁT és dinamikus átvételi árak) és a termelési adatok 24 órás beolvasott értékein, mint következő napi előrejelzett adatsoron alapszik. A beolvasott értékesítési ár adatsoron megvalósuló lokális minimum és maximum keresés adja a tároló kapacitások szimulációjának alapját. Az alacsony áridőszak alatt megtermelt megújuló energiával töltött tárolókapacitást a későbbi, magasabb áridőszakban sütjük ki és az így jelentkező bevétel többletet összegezzük éves szinten. A dinamikus tarifarendszer által garantált profit, összevetve a különböző értékesítési lehetőségekkel (KÁT, tőzsde), egyedüliként nyújt reális megtérülési lehetőséget (3. táblázat). Eltekintve a tároló kapacitások, mint új piaci szereplők tőzsdei árakra történő visszahatásától, a dinamikus átvételi rendszerrel gazdaságossá válhat az energiatároló akkumulátorok kiépítése. Az éves többletbevételből és az akkumulátorok fajlagos költségéből (56 Millió Ft/MWh [7]) kiindulva 3-5 éves megtérülési idő adódik mely a 6 éves élettartamon belül van.

A beruházások rentábilissá tételéhez az energiatőzsdei és átvételi árak azonban alkalmatlanok (több mint 15 éves megtérülés adódik). A tőzsdei árak alapján számolt átvételi árak esetén jogosan fölvethető kérdés, hogy milyen következményekkel járhat a tőzsdei árak szignifikáns megváltozása. A felvetett kockázat (negatív oldalát a csökkenő árak adják) azonban a piac összes szereplőjét érinti, így a megnövekedett megtérülési idő minden beruházást hasonló (az energiahordozók ára miatt akár nagyobb) mértékben sújt mely alól semelyik szereplő, még a megújuló energiatermelés sem vonható ki. A tanulmányunkban vázolt dinamikus átvételi árstruktúra alapesetben azonos bevételt biztosít, de gazdasági lehetőséget teremt a megújuló energiatermelés és tároló kapacitások együttes alkalmazására. Az új átvételi tarifarendszerben a valós vagy virtuális tárolókapacitások üzembe helyezésével a KÁT kassza kiadási oldala erősen növekedhet, melynek finanszírozása kérdéses. Tároló kapacitás szimulációs modellünk felhasználásával becsléseket végeztünk a változó terhelés intervallumának szűkülésére, mely a csúcs levágás és völgy feltöltés hatásaként jelentkezik. (6. ábra). A kisebb aggregált tároló egységek az éles fogyasztási csúcsokat kiegyenlítik és jelentős szabályzó kapacitást válthatnak ki (0,82-0,45 MW/MWh). Körülbelül 300 MWh tároló kapacitástól azonban konstans növekedés alakul ki (0,18-0,13 MW/MWh) a csúcs levágás tekintetében.



6. ábra. **2013-as terhelési adatsoron szimulált tároló kapacitással elért csúcslevágás értéke**

A beépített energiatároló és a kiváltott szabályzó kapacitás gazdasági összehasonlításánál csupán a beruházási költségekkel számoltunk üzemeltetési és karbantartási költségek mellőzésével. Továbbá figyelmen kívül hagytuk a völgy feltöltés gazdasági jelentőségét. Az éves

3. táblázat. 500 kW-os névleges teljesítményű szél, nap és vegyes termelőegységek 2013-as adatai alapján számolt, 1 MWh tárolókapacitású akkumulátor felhasználásával elért többletbevétel, különböző tarifarendszer esetén

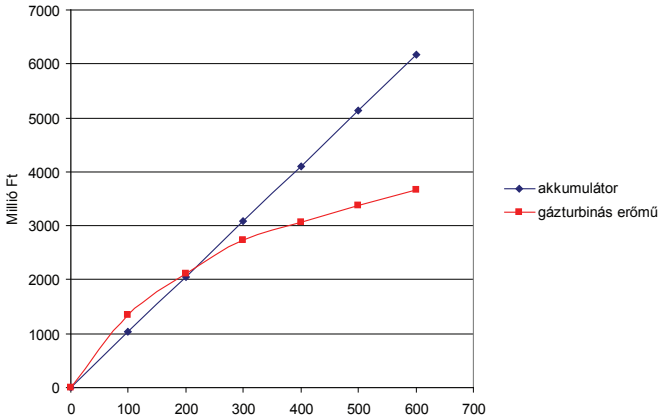
	szélenergia	szélenergia	napenergia	szélenergia	napenergia	szél és nap-energia	szél és nap-energia
2013	KÁT	HUPXDAM	HUPXDAM	Dinamikus Tarifa (Szél)	Dinamikus Tarifa (PV)	Dinamikus Tarifa (PV)	Dinamikus Tarifa (Szél)
Éves bevétel többlet (Millió Ft)	1,50	2,92	1,55	20,17	10,12	15,45	19,79

beruházási költség I_t meghatározására a

$$I_o = \sum_{t=1}^{n} \frac{I_t}{(1+r)^t}$$

összefüggést használtuk ahol n az élettartam (akkumulátor: 6 év, gázturbinás erőmű: 30 év), I_o a beruházási költség (akkumulátor: 56 Millió Ft/MWh, gázturbinás erőmű: 300 Millió Ft/MW) és r a diszkontténye ző (4%).

A beépített energiatároló és a kiváltott szabályzó kapacitás függvényének (6. ábra) ismeretében és az éves beruházási költség felhasználásával megvalósított számítások alapján 200 MWh-ig az akkumulátoros tároló kapacitás gazdaságosabb, így a kiöregedett szabályzó kapacitások kiváltására van létjogosultságuk (7. ábra).



7. ábra. **Azonos szabályzó funkciót betöltő akkumulátor és gázturbinás erőmű éves beruházási költségének összehasonlítása**

Összefoglalás

Tanulmányunkban az időjárásfüggő megújuló villamosenergia-termelés jelenlegi támogatási keretéből kiindulva alakítottunk ki olyan, a tőzsdei árakhoz rögzített, dinamikus tarifa rendszert mely tároló kapacitások rendszerbe integrálását gazdaságossá teszik. Szimulációs modellünk alapján beláttuk, hogy nagyságrendileg 200 MWh tárolókapacitás kialakításának gazdasági terhei, a piacról kiszorított, elöregedett, gáztüzeléses szabályzó erőművek fenntartási költségének átcsoportosításával fedezhetők. Számításaink során az energiatárolásra felhasznált Li-ion akkumulátorok a költségesebb energiatárolási lehetőségek közé tartoznak és manapság sokkal kedvezőbb, akár rendszerszintű feladatok ellátására alkalmas technológiák is üzembe helyezhetőek. Itt a szivattyús energiatárolás vagy akár a nátrium alapú akkumulátorok is megemlíthetőek melyek beruházási költsége, és általánosan az előállított villamos energia kiegyenlített átlagos ára (LCOE) jóval alacsonyabb (fele-negyede) a Li-ion akkumulátorokénak.[7] Természetesen minden ipari létesítmény telepítésének vannak áthidalhatatlannak tűnő nehézségei, elég itt a kilátástalan engedélyeztetésre a tájvédelmi körzeteknél vagy a fokozott biztonsági követelményeket igénylő üzem elhelyezésének társadalmi visszhangjára gondolni. Az ösztönző gazdasági környezet azonban hosszútávon az innovatív megoldásoknak kedvezhet. Meg kell említenünk azonban a gazdasági kockázatokat is, hiszen a tőzsdei árak alapján számolt átvételi árak esetén jogosan fölvethető kérdés lehet, hogy milyen következményekkel járhat a tőzsdei árak szignifikáns megváltozása. A fölvetett kockázat (negatív oldala, a csökkenő árak) azonban a piac összes szereplőjét érinti, így a megnövekedett megtérülési idő minden beruházást hasonló (az energia hordozók ára miatt akár nagyobb) mértékben sújt mely alól semelyik szereplő, még a megújuló energiatermelés sem vonható ki. Lényeges kérdés lehet még, és további vizsgálatokat igényel az új tarifa hatása a tőzsdei árakra. A valós, vagy virtuális tároló kapacitások gyarapodása az árak kiegyenlítésének irányába mutatnak, azonban a kialakuló egyensúlyi helyzet meghatározása túlmutat a jelen cikk keretén.

Irodalom

[1] KSH 6.4.1.1. Földterület művelési ágak szerint KSH 2000-2014
[2] Vajda György: Energia ellátás Ma és Holnap, MTA 2004
[3] Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve 2010-2020 NFM 2011
[4] http://www.mavir.hu/web/mavir/183
[5] http://ekh.kvk.uni-obuda.hu/projektjeink/55-tesco-megapark-2009.html
[6] Beszámoló a megújuló alapú villamosenergia-termelés, valamint a kötelező átvételi rendszer 2013. évi alakulásáról MEKH 2014
[7] Electricity Energy Storage Technology Options EPRI 2012

Csiba Péter az MVM Zrt. elnök-vezérigazgatója

A GDF SUEZ Energia Holding Hungary Zrt. vezérigazgató-helyettesi és a GDF SUEZ Energia Magyarország Zrt. általános vezérigazgatói tisztségei után Csiba Péter a Magyar Villamos Művek Zrt. elnök-vezérigazgatói teendőit látja el.

Csiba Péter a Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett gépészmérnöki diplomát. A Londoni Business School − Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem közös MBA programját végezte el. Később részt vett a Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetem Egészségügy- és Kórházmanagement szakirányú képzésén. Szakmai pályáját 1987-1990 között az Orvosi Műszer Szövetkezet (Omszöv) fejlesztőmérnökeként kezdte. 1991-ig a Ramovill Kereskedőház orvostechnikai eszközök értékesítésével foglalkozó értékesítési vezetője. 1997-ig öt éven át a svéd AGA Gas hazai leányvállalatát fejlesztette országos céggé értékesítési és marketingigazgatóként. Ezután az egészségügyi szolgáltatói szektorban tevékenykedő Olympus Hungary Kft. alapító ügyvezetője, amelyet az ott töltött nyolc év alatt több száz fős vállalattá szervez.

Később az építőiparban is kipróbálta magát: 2007-ig a Futó Péter nagyvállalkozó tulajdonában lévő, ingatlanfejlesztési profilú Futureal lakásépítési üzletágának vezérigazgatója. 2007-től először a svájci hátterű Atel Energia Kft. (ma Alpiq) cégvezetője és értékesítési igazgatója, 2008-tól pedig az akkor GDF Suez-tulajdonú Dunamenti Erőmű vezérigazgatója. 2010-től a GDF Suez Energia Holding Hungary Zrt. vezérigazgató-helyettese, a GDF Suez Energia Magyarország Zrt. gazdasági és portfóliókezelési vezérigazgatója, valamint a Dunamenti Erőmű igazgatóságának elnöke. A GDF Suez magyarországi főmegbízottjaként felelt a cégcsoport és a hazai leányvállalatok képviseletéért.

Csiba Pétert 2015. június 29-én nevezték ki az MVM Magyar Villamos Művek Zrt. elnök-vezérigazgatójává. Pozícióját 2015. augusztus 15-étől tölti be. Szabadidejében szeret sportolni, motorozni, kerékpározni, teniszezni, síelni − néhány éve a Magyar Motorsport Szövetség volt szakmai alelnöki tisztségét is betöltötte.

Elnök-vezérigazgató úr kinevezéséhez gratulálunk, felelősségteljes munkájához sok sikert kívánunk.

Micro heat-pipe rendszerű PV/T kollektorok vizsgálata

Háber István Ervin
ihaber@mik.pte.hu

Farkas István
Farkas.Istvan@gek.szie.hu

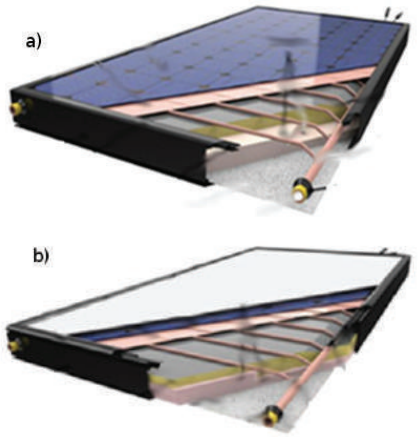
A hibrid napkollektorok (PV/T) egyszerre szolgáltatnak villamos- és termikus energiát. Az ilyen típusú kollektorokat érdemes a termikus oldal szerint méretezni, mivel egy rendszerben a hőtároló kapacitás általában véges, míg a villamos energiát akár hálózatba is táplálhatjuk. Egy újfajta heat-pipe rendszerű PV/T kollektor üzemi paramétereit vizsgálva meghatároztuk annak a tervezési paramétereit és fotovillamos modul hűtéséből adódó sajátosságokat. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a PV/T kollektor villamos termelése ideális esetben is alacsonyabb mint egy általános fotovillamos modulé, de összhatásfokban kiemelkedő teljesítményt nyújt. A mérési adatokból kitűnik, hogy nem képes a hűtőközeget a sík- és vákuumcsöves napkollektorokhoz hasonlóan magas hőmérsékletre felfűteni, és így a rendszerek tervezésénél ezen sajátosságokat figyelembe kell venni.

*

Measuring the operating parameters of a new type of heat pipe system PV/T collector, the characteristics of the design parameters and the cooling circumstances of PV modules were determined. Based on these results, it can be stated, that the electricity production of PV/T collector is lower than a standard PV modules, but the overall efficiency provides outstanding performance, although it is clear from the measurement data that it is not capable to heat up the refrigerant fluid to the same level as at the flat- and evacuated tube solar collectors, and so at a new system design these circumstances have to be taken into account.

* * *

A PV/T kollektoroknak többféle változata lehetséges, a technikai kialakítás miatt alapvetően megkülönböztetünk levegős és folyadékos rendszereket. A folyadék hűtésű rendszerek két alapvető szempont szerint készülnek: az egyik a fotovillamos hatásfokot helyezi előtérbe a másik pedig a fototermikus hatásfokot. Az 1. ábrán látható a két megközelítés technikai megvalósításai [6]:



1. ábra. **A PV/T kollektorok két lehetséges megközelítése**

Az a) ábrán látható kollektor villamos energiatermelésre lett optimalizálva, a b) jelűnek pedig a termikus hatásfoka a magasabb. Míg az a) modul esetében egy hagyományosnak mondható PV modul alá helyeztek egy réz abszorbert és a hozzá kapcsolódó gyűjtőcsöveket, majd a hátoldalt szigetelték. A b) jelű megoldás pluszban dupla üvegezést kapott, ami egyértelműen növeli a reflexiót, az elnyelődést az üvegezésben, és ebben az esetben a cellahőmérséklet is magasabb lesz mivel az elülső oldalon nem tudja leadni a hőt (konvektív módon) a környezet felé. Ebben az esetben a termikus hatásfok viszont magasabb lesz, és a jobb szigetelés miatt eleve magasabb hőmérsékletre fűti fel a munkaközeget.

A teljesítmény alapú (exergia) mérések és vizsgálatok alapján a következő megállapítások tehetők:

- A PV/T kollektor nagyobb kimenő energiasűrűséget biztosít, mint egy külön PV modul és egy síkkollektor [1].
- Minél nagyobb energiát szeretnénk kinyerni a PV/T kollektorból annál rosszabb a villamos energiatermelés hatásfoka.
- Exergia alapú vizsgálat alapján elmondható, hogy a legjobb teljesítménye a plusz üvegezést nem tartalmazó PV/T moduloknak van [3].
- A plusz üvegezést nem tartalmazó modul kb. 8%-kal több villamos energiát termel, a kettős üvegezésű PV/T viszont hozzávetőlegesen azonos villamos energiát termel, mint egy normál PV modul plusz annyi hőenergiát, mint egy normál síkkollektor.

A PV/T kollektorok termikus hatásfokát (η_t) a termikus teljesítmény (Q_h) és a modulra eső sugárzás (I) alapján számíthatjuk. A villamos hatásfok ugyanígy a villamos teljesítmény (Q_v) és felület, illetve az egységnyi felületre eső sugárzási teljesítmény hányadosa. Ideális esetben $A_k = A_{PV}$ (kollektor felület és nettó PV felület), így

$$\eta_t = \frac{Q_h}{A_k I} \tag{1}$$

és

$$\eta_v = \frac{Q_v}{A_{PV} I}, \tag{2}$$

A PV/T kollektor összhatásfokát a két részhatásfok összegeként írhatjuk fel:

$$\eta_ö = \eta_t + \eta_v. \tag{3}$$

Az összhatásfok az (1) és (2) alapján tehát az alábbi módon adható meg:

$$\eta_ö = \frac{Q_h + Q_v}{A_k I}. \tag{4}$$

A PV/T síkkollektor pillanatnyi hőteljesítményét a rajta átfolyó közeg melegedéséből számíthatjuk:

$$Q_h = \dot{m} c_p \left(t_{ki} - t_{be}\right), \tag{5}$$

ahol m a tömegáram c_p a fajhő, továbbá t_{be} a bemeneten és t_{ki} a kimeneten mért hőmérsékletek.

Tovább részletezve Hottel és Whillier [4] PV/T-re módosított modellje alapján a hőteljesítmény kifejezhető az abszorbeált napsugárzás, a hőveszteségek és az előállított villamos energia alapján:

$$Q_h = F_R A_k \left[I(\tau\alpha) - U_L (t_{be} - t_w) \right] - Q_v, \tag{6}$$

ahol A_k a kollektor felület, t_w a környezeti hőmérséklet, $(\tau\alpha)$ az üvegezés transzmittancia és abszorpciós jellemzői, U_L a teljes hőveszteségi fok, Q_v a villamos teljesítmény F_R pedig a hőelvonási faktor.

A fotovillamos hatásfok mérése a (2) összefüggés alapján lehetséges, de η_v megadására az Evans, Florschuetz [2] képletet is használhatjuk:

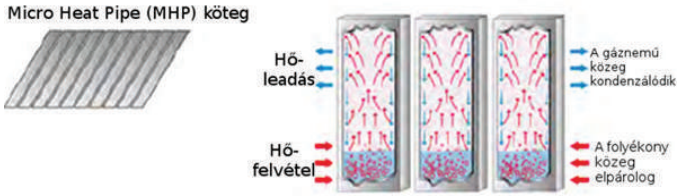
$$\eta_v = \eta_{ref} \left[1 - \beta_{PV} (t_{PV} - t_{ref}) \right], \tag{7}$$

ahol η_{ref} a standard körülmények közt mért hatásfok, β_{PV} a modul hőmérsékletfüggési együtthatója, t_{PV} pedig a cellahőmérséklet. A t_{ref} a hőmérsékletfüggési együttható mérésekor meghatározott referencia hőmérséklet, ami a Standard Teszt Feltételek (Standard Test Conditions − STC) esetén 25 °C.

A kettős és a szimpla üvegezésű PV/T kollektorok az U_L, a τ és az α értékében különböznek. A vizsgált rendszer folyadék hűtés helyett hőcsöves (heat pipe) megoldással gyűjti be a hőt a kollektorfelületről, ami miatt a hőelvonási faktor és magának az hővezető anyag tulajdonságainak a meghatározása szükséges, amely jelen munka tárgya.

Alapvetően solid heat pipe és termoszifon alapú heat pipe rendszerek ismertek, és ezek mindegyike meg is található különböző PV/T rendszerekben. A solid heat pipe olyan hővezető anyagot takar, amelynek a hővezetése nagyon nagy. Ezek többnyire fémek, az alumíniumtól kezdve a rézen át az ezüstig (és még egyéb fémes anyagok), illetve ezek ötvözete. Hátrányuk, hogy relatíve drágák, az alumíniumot kivéve.

A termoszifon effektus alapján működő heat pipe rendszerek rendelkeznek egy gőzfejlesztő és egy kondenzációs résszel (2. ábra). Olyan speciális megoldással is találkozhatunk, amely egy 2008-as, Kínában bejegyzett szabadalmon alapul [9], ami egy úgy nevezett micro heat pipe köteg (MHP-Array). A leírások alapján alumínum anyagról van szó, amelynek a belsejében mikro csövek (D<2 mm) helyezkednek el és ezekben a termoszifon működésnek megfelelő anyag található.



2. ábra. **Termoszifon heat pipe sematikus ábrája [7]**

Az MHPA-val kiegészített fotovillamos modul előnye vizsgálati szempontból az, hogy a modul felépítése teljesen változatlan a normális PV-modulokhoz képest, csak a hátsó merevítő rétegre (ami rendszerint tedlar) van felragasztva az MHPA anyag. Így akár két rendszernek a hatásfokát külön-külön is összehasonlíthatjuk.

A vizsgálati módszerek bemutatása

A vizsgált PV/T modult a Micro heat-pipe technologies nevű kínai vállalat gyártotta és egy szabadalmaztatott [7] HeatRuler nevű anyagot használ hővezető anyagként. Így nem a hagyományos PV/T-vel van dolgunk, ahol a csőkígyó vezeti el a hőt az abszorber hátoldaláról, hanem a HeatRuler sávok, amely egy mikro csöves alumínium lapos profil, melynek kiemelkedő tulajdonsága a gyártó által megadott 1 000 000 W/mK hővezetési együttható. A hővezető anyagra vonatkozó, a gyártó által megadott, egyéb tulajdonságok az 1. táblázatban láthatók:

1. táblázat. Az MHP struktúra gyártó által megadott fizikai tulajdonságai

Anyag	Alumínium
Struktúra	Kapilláris csövek (mikro csövek)
Hővezetés	1 000 000 W/mK
Izoterma	<1 K/m
Működési hőmérséklet	-120 °C – 180 °C
Maximális termikus fluxus sűrűség	100-200 W/cm^2

Az anyagjellemzők meghatározása

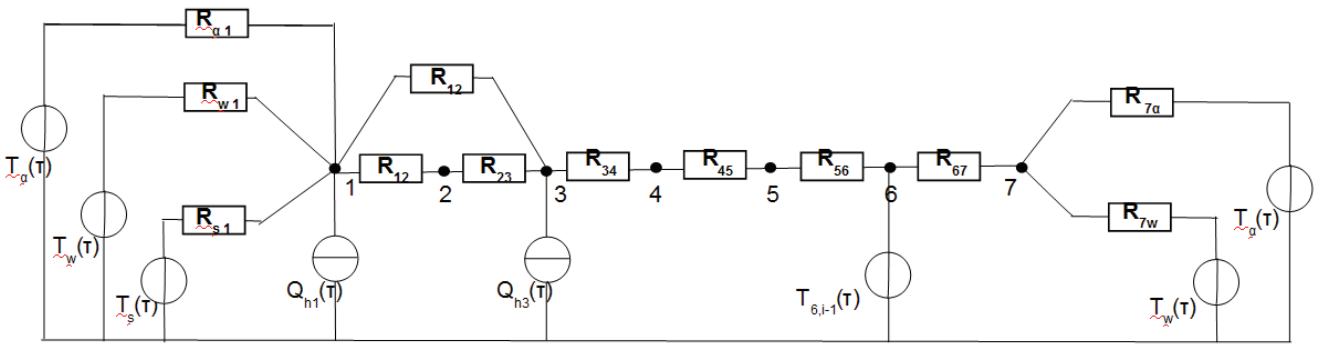
A gyártó a hővezetésnek valószerűtlenül magas értéket ad meg, ezért azt méréssel ellenőriztük. Egy ismeretlen anyag hővezetését egyszerűen, egy ugyanolyan geometriájú ismert hővezetésű anyaggal összehasonlítva lehet mérni, ha ugyanakkora hőteljesítményt közlünk mindkét anyaggal, továbbá minden egyéb körülménynek is azonosnak kell lennie. Az MHP anyag hővezetését 50 °C fok körül érdemes vizsgálni, mivel ezeknél a kollektoroknál a méréseink alapján ez egy tipikus érték.

A tesztanyagot (egy hővezető sávot) egy modulból szereltük ki, amelynek dimenziói 50×500×5 mm, tehát egy téglalap keresztmetszetű sáv. A hőközlés egy Peltier elemmel történt, amelynek ismert a karakterisztikája, így pontosan beállítható a kívánt hőmérséklet; 12,5 V-on (professzionális labortáppal beállítva) a cella 65 W-ot közöl a hővetezető anyaggal. A Peltier elem 40×40 mm felületen érintkezik az MHP vezetősávval.

Nehézségbe ott ütköztünk, hogy pontosan ilyen méretű, ismert hővezetésű anyagot nem tudtunk beszerezni. Viszont a hővezetést nagyon biztosan tudjuk számolni/szimulálni homogén anyagok esetén. Így az ugyanilyen méretekkel a mérésnek megfelelő körülmények közt az Abaqus végeselemes szoftverrel készítettünk egy szimulációt tiszta alumínium anyaggal (hővezetési tényező: 237 W/mK, hőkapacitás: 0,88 KJ/kgK, sűrűség: 2700 kg/m^3). A mérési kontrollpont hőmérséklete és a szimulációban ugyanazon pont hőmérsékletének különbségéből számítható az MHP hővezetése.

A hővezető anyagot különböző szögekben is vizsgáltuk, mivel a heat pipe rendszernek köszönhetően ez változhat. A mikro-csövekben ideálisan a kondenzáció miatt függőlegesen működik a legjobban az effektus, viszont a napelemek 21°-től akár 45°-ig bedöntve vannak felszerelve.

Az elvégzett 3 mérés alapján 45°-os döntésnél a kontroll-pont hőmérséklete átlagban 46,4 °C-ot vett fel. A szimuláció alapján a kontroll pont hőmérséklete mindössze 3,2 °C-al emelkedett a 20 °C-os környezeti hőmérséklet fölé. Így az összehasonlítás alapján az MHP hővezetése az alumíniumének 8,25-szerese, azaz 1955,25 W/mK. Függőleges helyzetben ez az érték valamivel magasabb: 2140,4 W/mK, mivel ΔT=28,9 °C.



3. ábra. **A PV/T modul hőáramhálózatos modellje**

A hőáramhálózatos modell

Az MHP PV/T modulokra elkészítettük a 3. ábra szerinti hőáramhálózatos (HÁH) modell [4], hogy az felhasználható legyen az energiatermelési szimulációk végzéséhez és, hogy egzakt módon lehessen számolni a PV/T modulok celláinak hőmérsékletét. Így a fotovillamos modulok hőmérsékletét a (8) összefüggéssel és a hőmérséklet birtokában a hatásfokot a (7) összefüggéssel tudjuk számolni.

Ebben az esetben az anyagjellemzők az MHP és a hátoldali szigetelés adatival (lásd 2. táblázat) valamint a hűtőközeg áramával bővülnek.

2. táblázat. A PV/T kollektor anyagjellemzői

Anyag	Sűrűség (kg/m³)	Hővezetés (W/mK)	Fajhő (J/kgK)	Rétegvastagság (mm)
üveg fedés (N_g)	2580	0,98	79	3
beágyazó réteg (N_{ei})	939	0,23	1926	0,5 (2 rétegben)
szilícium (N_{si})	2730	144	712	0,4
hátoldali védőréteg (N_b)	150	0,36	1200	1
MHP	2700	1955,25	880	5
szigetelés	100	0,3	1120	30

A tranziens állapotra érvényes hőáramhálózatos modell leíró egyenlete a következő:

$$\underline{\underline{G}}\,\underline{T}(\tau)+\underline{\underline{C}}\frac{d\underline{T}(\tau)}{d\tau}=\underline{Q_h}(\tau), \qquad (8)$$

ahol $\underline{\underline{G}}$ a hőátviteli mátrix, $\underline{\underline{C}}$ a hőkapacitás mátrix, $\underline{T}$ a hőmérséklet vektor $\underline{Q}$ pedig a hőáram vektor.

A HÁH leíró egyenlet elemei a 3. és 4. táblázatban láthatók. A hőátviteli mátrixban, mivel egységnyi értékekkel számolunk, ezért a hőgyűjtő-cső felé a hőátadást a felületarányok alapján vett szorzóval szorozzuk. Mivel a gyűjtőcső 10 cm széles a hasznos felület arányában ez 0,096 lesz. Így tudjuk az egydimenziós modellben a hőátvitelt a nem arányos felületek között számolni.

3. táblázat. Hőátviteli mátrix ($\underline{\underline{G}}$), [W/K]

50-(1/αA) Δτ	0,605	1	0	0	T_6-5,5	0
0,605	0,0294	72,105	0	0	0	0
1	72,105	950	72,105	0	0	0
0	0	72,105	0	0	0	0
0	0	0	0	4,88	0	0
T_6-5,5	0	0	0	0	2,533	0,295
0	0	0	0	0	0,295	1-(1/αA) Δτ

4. táblázat. Hőkapacitás mátrix (C), [J/K]

237	0	0	0	0	0	0
0	963	0	0	0	0	0
0	0	285	0	0	0	0
0	0	0	963	0	0	0
0	0	0	0	120	0	0
0	0	0	0	0	1350	0
0	0	0	0	0	0	1377

A PV/T modulok további technikai jellemzői az 5. táblázatban láthatók.

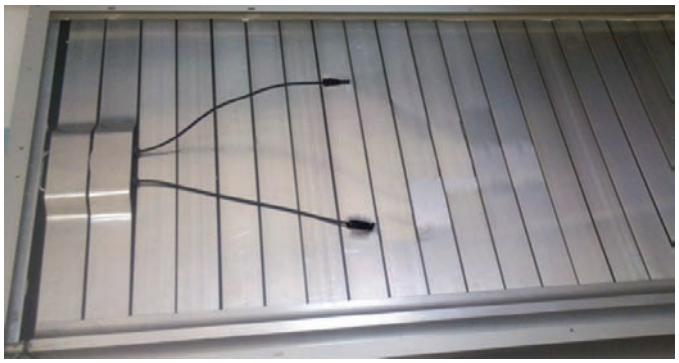
5. táblázat. A PV/T kollektor gyártó által megadott jellemzői

Hossz	1650 mm
Szélesség	990 mm
Vastagság	50 mm
Tömeg	40 kg
Hasznos felület	1,5 m²
Kilépő folyadék hőmérséklet	43 °C
Termikus hatásfok	40%
Hőmérsékleti együttható	-2,8 %/°C

A gyártót idézve a „HeatRuler® a PV modulok hátoldalának hűtésére használható, ami növeli a fotovillamos hatásfokot. Indirekt folyadékos vagy levegős hűtéssel a napelem hőmérséklete tartósan 50 °C alatt tartható, ami 10-20%-al növeli a hatásfokát. Mesterséges folyadékkeringetéssel le lehet vinni a hőmérsékletet 42 °C alá, ami akár 20-30%-os PV teljesítménynövekedést okozhat, úgy hogy közben a termelt hő is felhasználásra kerülhet.”

A PV modul Tedlar anyagára egy HeatRuler sávokból álló hővezető-hőgyűjtő részt szereltek, amely a modul hátoldali felületéről begyűjti az abszorbeált hőt, azt pedig a hőgyűjtő egység felé vezeti. A 27 darab lamella lefedi a panel hátsó traktusát ami az ott létrejövő hőveszteséget próbálja csökkenteni a model hűtésével együtt (4. ábra). A hőgyűjtő feladata a HeatRuler sávokból érkező hő tárolása és továbbadása a hozzá csatlakoztatott hőcserélő-folyadékos rendszernek.

A síkkollektorok elülső részén dupla üvegezést alkalmaznak általában gázfeltöltéssel. Itt csak egy réteg van, továbbá a PV szerkezet a beágyazóréteggel, az Si cellákkal és a Tedlar hordozóval, de ezek hővezetése jóval magasabb a hagyományos kollektorokénál.

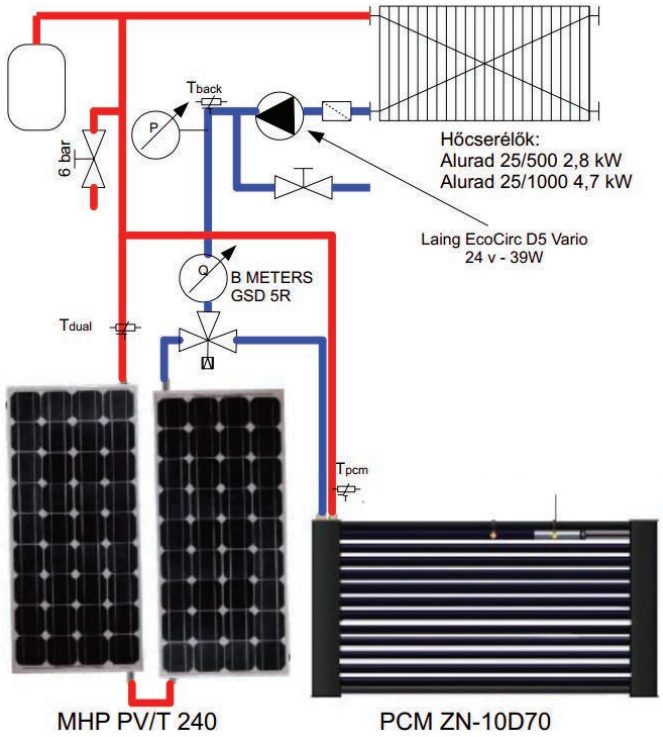


4. ábra. **A PV/T modul hátoldala a szigetelés eltávolítása után**

Így a PV/T esetében az elülső oldali hőveszteségek sokkal nagyobbak.

A PV/T modulok mérése

A méréseket kétféle kollektorra végeztük el. A hidraulikai rendszer a PV/T és egy PCM (phase changing material) fázisváltós kollektornál közös (5. ábra), mivel vagy egyik, vagy másik működik egy időben. Mivel a PCM kollektor jelentős hőtároló kapacitással rendelkezik, ezért azt elégséges akkor üzemeltetni, ha a benne tárolt energiamennyiség megközelítette a felhasználható maximumot. Ez megfelel a valós felhasználási módjának, hiszen a használati melegvíz kivétele is szakaszos.



5. ábra. **A PV/T modulok mérési rendszerének hidraulikai kapcsolása**

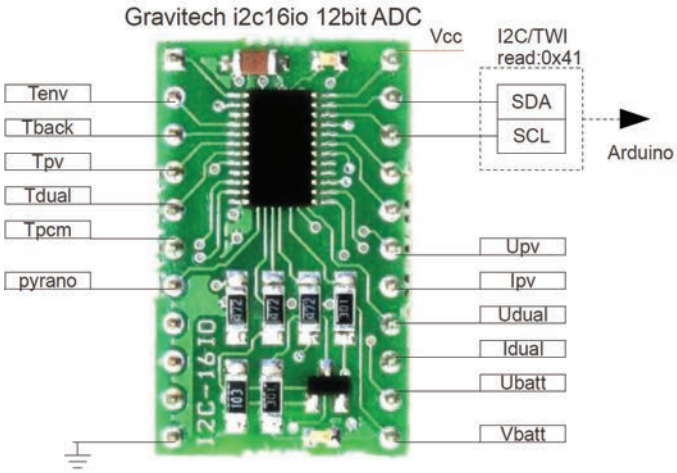
A mérési rendszer úgy lett megtervezve, hogy az aktív alkatrészek így a keringető szivattyú és a kétutas szelep mozgatója 24 V-ról működjön, mivel így a teljes rendszer külső energiaforrást nem igényel, mert a 24 Voltos akkumulátorról kapja a tápellátást, azaz közvetve a napelemekről működik. A szabályozás alapja a két PT1000 hőellenállás, amelyek a kollektorok kimenetén merülő hüvelyekben vannak elhelyezve. Ha ezekben a pontokban a folyadékhőmérséklet elér egy bizonyos szintet, akkor bekapcsol a szivattyú és a levegős hőcserélőkben keringeti a folyadékot.

A hőcserélők úgy lettek méretezve, hogy mindenkor elegendő hőleadó teljesítményt biztosítsanak a rendszernek. Mivel összteljesítményük 7,5 kW (20 °C környezeti hőmérséklet és 80 °C fűtővíz és esetén), ezért a PCM kollektor névleges hőtároló kapacitását (20 MJ = 5,55 kWh) hozzávetőlegesen 45 perc alatt le tudja adni. A PV/T esetében a gyári adatok alapján a termikus hatásfok 40% körüli, ez azt jelenti, hogy a 2×1,5 m^2 hőelnyelő felület 1000 W/m^2 besugárzás esetén 1200 W hőteljesítményt kell hogy szolgáltasson.

A hőmennyiségek mérésére a visszatérő oldalon lett elhelyezve egy további PT100 hőérzékelő és sorban utána egy hitelesített átfolyás mérő, impulzus kimenettel.

A rendszer szabályozása

Az átfolyás mérő által küldött impulzusokat közvetlenül egy Arduino mikrokontroller digitális bemenetén mértük, míg a hőmérsékleteket, a feszültséget, az átfolyó áramot és a pyranométer feszültségét egy 12 bites A/D konverteren (6. ábra) keresztül mértük, amely i2c buszon kommunikál a szabályozóval.



6. ábra. **Az ADC bemenetei a naplózás szerinti megnevezéssel**

A szabályozás nem hőmérsékletkülönbség (ΔT) alapú, ahogy az ilyen rendszereknél megszoktuk (mivel nincs puffertartály és mert csak a hőmennyiségeket mérjük), hanem amikor a rendszer elér egy megadott hasznos hőmérsékletet, akkor kapcsoljuk be az aktív elemeket (szivattyú, szelep). Ez a hőmérséklet a PV/T esetében 50 °C, a PCM kollektor esetében 95 °C. Bár a konvencionális kollektorok esetében már 30-35 °C-os kollektor-hőmérsékletnél is bekapcsolhat a rendszer, ami onnan detektálható, hogy a túl alacsony hőmérsékletű indítás a rendszer ki-bekapcsolgatását eredményezi a PV/T alacsonyabb hatásfoka és a nagyobb hőveszteségek miatt.

Alapvetően a PV/T kör működik, mivel a PCM rendszernek jelentős tehetetlensége van a nagy kőkapacitás miatt, de ha a hőmérséklet eléri a 95 °C-ot, akkor le kell hűteni. A hűtési folyamat egészen addig zavartalanul megy végbe, amíg a rendszer 40 °C-ra vissza nem hűl. Egyetlen esemény szakíthatja meg a PCM hűtési folyamatot, ha a PV/T hőmérséklete eléri a 100 °C-ot, mivel itt már a rendszerben a hőcserélő folyadék felforrhat, így ez védelmi szempont. A gyakorlatban viszont ilyen esemény nem fordult elő, mivel a

PV/T kollektornak nagyok a hőveszteségei. A maximális hőmérséklet, amit ez ideig naplózott a rendszer az 72,03 °C volt.

A szabályozó feladata az adatgyűjtés is, és mivel a rendszer nem igényel gyors beavatkozást, így van idő az egyéb számítások elvégzésére és a kiértékelésre is.

Eredmények

A mérések segítségével meghatározásra került az MHP PV/T modulok F_R hőelvonási tényezője, amely a kollektoros rendszerek méretezéséhez nélkülözhetetlen jellemző. A (5) összefüggés alapján a számításhoz szükséges a kollektor pillanatnyi hőteljesítménye (Q_h), amely a mérésekből adódik, továbbá a transzmittancia-tényező (τ), amely a gyártó által megadásra került a EN410 méréseknek megfelelő 8481R-10.26188 TÜV tanúsítvány szerint, amely erre 0,92 értéket ad meg. Az F_R tényező meghatározásához szükséges továbbá az abszorpciós tényező (α) ismerete is, de mivel a gyártó nem ad meg erre vonatkozó információt, ezért a szakirodalom alapján a polikristályos napelemekre jellemző 0,9 faktort használjuk [8]:

$$F_R = \frac{Q_h}{A_k\left[I\tau\alpha - U_L\left(t_{be} - t_w\right)\right]}. \qquad (9)$$

Ily módon az F_R tényező 3 nap termelési adatainak átlagolásával 0,0769 értékre jön ki. Mivel a gyártó 240 Wp teljesítményt ad meg STC körülmények mellett, így az 1,5 m^2 felülettel együtt ez 16%-os névleges hatásfokot jelentene, amely a hőmérsékleti együtthatóval csökkentve 14,33%. Ezen – a gyártó által megadott értékekből számolt – eredmények méréssel ellenőrizhetők.

A hosszú távú mérések egyik fontos tapasztalata az, hogy bár a PV/T kollektor nem ér el olyan extrém hőmérsékleteket, mint egy PV modul, de a PV/T hőmérséklete 50 °C-ig mindig magasabb volt, mint az általános PV modul hőmérséklete. Egy tipikus mérés eredményei a 7. ábrán láthatók. A 7. ábra a) részén a PVT és a HÁH-PVT szimuláció mért és számított hőmérsékletei lettek ábrázolva, míg a b) és c) részben a leadott pillanatnyi hőteljesítmény követhető az átáramoltatott térfogattal egybevetve. A mérési eredményekből kiemelendő, hogy az aznapi működési időszakban (amikor a szivattyú működött) a PV/T modul termikus átlaghatásfok 46%, míg a termikus hatásfok legmagasabb pillanatnyi értéke 62% volt. Ha a termikus hatásfokot a teljes napos időszakra vonatkoztatjuk, akkor annak értéke csupán 22%. Ugyanakkor a villamosenergia-termelési időszakban a PV/T villamos átlaghatásfoka meghaladta a 15%-ot, miközben az átlaghőmérséklet 32 °C volt, szemben a „kontroll" PV modulok átlaghatásfokával, amely csak 14,3% volt. A „kontroll" PV modulok pillanatnyi hőmérséklete ugyan elérte a 64 °C-ot de átlagosan csak 42 °C volt, a villamos hatásfok-csökkenés mégis jelentősebb a PV/T-nél: -11% a 0,5%/°C hőmérsékleti együtthatóval számolva.

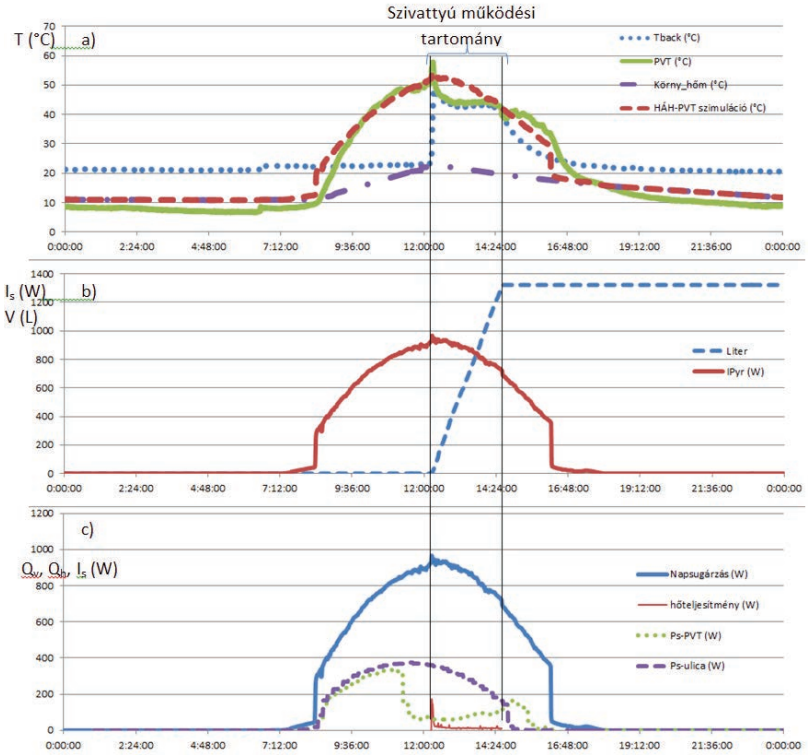
A mérési adatok ismeretében és azokat felhasználva számítható a PV/T modul hőmérséklete. Ez egy ideális modell, amely nem veszi figyelembe a hőelvitelt, így a statisztikai ellenőrzéskor a szivattyú működési tartományát kihagytuk a számításokból. Ez alapján a 6. táblázat tartalmazza a a mért hőmérsékletre vonatkozó szórás, a maximális eltérés és az átlagos eltérést a három mérési időszakra vonatkozóan, a hőáramhálózatos modellel való összehasonlításban.

6. táblázat. A HÁH-PVT modell statisztikai adatokkal való ellenőrzése

Mérés ideje	Legnagyobb eltérés (°C)	Átlagos eltérés (°C)	Szórás (°C)
2014. október 19.	13,35	2,95	3,99
2014. október 18.	12,2	3,11	4,14
2014. október 20.	12,81	3,09	4,05

A HÁH-PVT és a HÁH-PV [4] modellel objektíven össze lehet hasonlítani a hűtött (MHP típusú) és hűtés nélküli PV modulok hatásfokának alakulását éves szinten. Ha a vizsgált rendszert és annak szabályozását vesszük alapul, akkor ez azt jelenti, hogy egy logikai „HA()" függvénnyel az 50 °C feletti részt levágjuk (mivel feltételezzük, hogy a rendszer bekapcsolásával az e feletti rész hőáramát a folyadék-levegő hőcserélőkkel eldisszipáljuk, ahogy az egyébként a mérőrendszeren is megvalósul). Így a PV/T kollektor hőmérséklete ezen érték fölé nem mehet. A 8. ábrán egy kiemelt nap szimulációs eredményei láthatók.

A szimuláció eredményeként azt kapjuk, hogy míg a PV/T kollektor éves szinten 195,4 kWh villamos energiát ad le (1 m^2 PV felületen), addig a „normál" fotovillamos modul 198,2 kWh-t. Ez mindössze 1,4%-al több a PV modul javára. A teljes éves villamos hatásfok a PV modul esetén 14,71% a PV/T kollektornál 14,64%, ahol az összhatásfok jóval magasabb a termikus hányadnak köszönhetően (lásd 7. táblázat). Ha nem viszünk el hőt a PV/T kollektorról akkor 194,7 kWh villamos energiát tudunk egy évben előállítani.



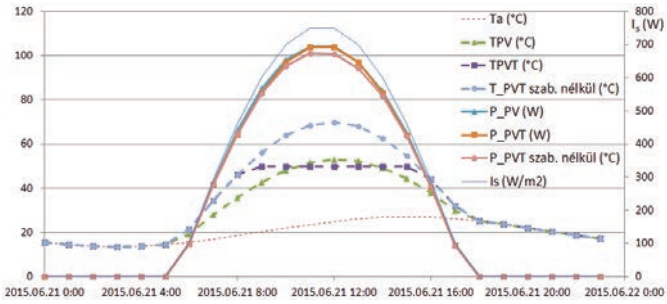
7. ábra. **A PV/T rendszer mérési eredményei 2014. október 19-én**

Összefoglalás, következtetések

A munka során a fotovillamos és termikus hibrid napkollektor modulok egyik speciális, újfajta típusát (MHP PV/T) vizsgáltuk. A kidolgozott HÁH modell alapján összehasonlító vizsgálatot végeztünk a nem

hűtött PV modulokkal. Az eredmények igazolják, hogy bár az MHP PV/T alkalmazása esetén a fotovillamos hatásfok csökken, de a teljes (fotovillamos- és termikus- együtt) hatásfok miatt nagyobb energiatermelést érhetünk el, ami abból is egyértelműen következik, hogy az éves fotovillamos hatásfok-különbség mindössze 0,07%.

A további munkák során célszerű lenne az MHP PV/T modult dupla üvegezéssel tesztelni, hiszen a fotovillamos hatásfok a hűtés miatt nem romlana (csak a plusz üvegezés traszmittancia-hányadosával), viszont a termikus hatásfok jelentősen nőne.



8. ábra. **A szimulációs eredmények egy adott napon (június 21.)**

7. táblázat. A fotovillamos jellemzők éves alakulása

	Éves hatásfok - ηa (%)	Éves termelés - Pa (kWh)
PV	14,71	198,2
PV/T szabályozással	14,64	195,4
PV/T szabályozás nélkül	14,61	194,7

Irodalomjegyzék

[1] Daghigh, R., Ruslan M.H., Sopian K.: Advances in liquid based PV/T collectors. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, Vol. 15, pp. 4156-4170.
[2] Evans D.L., Floerschutz. L.W.: Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems, Solar Energy, 1977, Vol. 19, pp. 255-262.
[3] Fujisawa T., Tani. T.: Annual exergy evaluation on photovoltaic–thermal hybrid collector. Solar Energy Materials and Solar Cells, 1997, Vol. 47, pp. 135–48.
[4] Háber I., Farkas I.: Napelemes rendszerek energiaviszonyainak modellezése, Mezőgazdasági technika, 2012, 53, 42-44. o.
[5] Hottel H.C., Willier A.: Evaluation of flat-plate solar collector performance. Transactions of the conference on the use of solar energy, 1958, Vol. 2, pp. 50-62.
[6] Newform Energy Ireland, http://products.newformenergy.ie/photovoltaic-thermal-pvt.php, Letöltve: 2015.10.15.
[7] Quan Z., Zhao Y., Tang X.: The experiment research for solar PV/T system based on flat plate heat pipes. Proceedings of the 17th Chinese national HVAC&R academic conference, 2010, pp. 51-56.
[8] Sandbergen R., Van Zolingen R.J.C.: The absorption factor of crystalline silicon PV cells: A numerical and exprimental study. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2008, Vol. 92, pp. 432-444.
[9] Zhao Y., Tang X., Quan Z.: Photovoltaic cell radiating and combined heat and power system, China patent No: CN 200820123998, 2008.

16 MW – 72 ezer napelem

Átadták Magyarország legnagyobb naperőművét

Magyarország legnagyobb fotovoltaikus erőműve 2015. október elején kezdte meg működését. A Mátrai Erőmű napenergiát felhasználó egysége szakít a hagyományos fosszilis energiaforrásokkal, csökkentve ezzel a légkörbe jutó káros terhelést, elősegítve a költséghatékonyságot, a gazdasági kapcsolatok fejlődését és a hazai megújuló villamosenergia-ipar fellendülését.

A Visontától két kilométerre található fotovoltatikus erőmű a Mátrai Erőmű ZRt. tulajdona. A felhagyott Őzse-völgyi zagytér tetején elhelyezkedő naperőmű az alternatív rekultiváció kiváló példája, hiszen a húsz év után megtelt és előírásoknak megfelelően lefedett harminchektáros terület a lehető legészszerűbb módon került hasznosításra, a betelepített napelemekkel.

A projekt előkészítése 2013 elején kezdődött. A szükséges dokumentumok megszerzése után elindultak a közbeszerzési eljárások, és a mátrai naperőmű alapkövének letételével 2015. június 1-jén hivatalosan is kezdetét vette az erőmű építése.

A 16 megawattos naperőmű kategóriájában a legnagyobb hazánkban: 72 480 darab, egyenként 255 watt névleges teljesítményű polikristályos napelemből áll. A naperőmű a Nap fotovillamos energiáját használja fel, és a napelemek kis cellái azok, amelyek azt egyenárammá alakítják. A napelemtáblákból kialakított sorok között a területen tíz konténer, egy gyűjtő kapcsolóállomás és egy mérnökállomás kerül elhelyezésre. Az egyes konténerek két darab invertert és egy darab száraz transzformátort tartalmaznak. A naperőművet 0,8 megawattos hálózati inverterek alkalmazásával építették ki. Ezek feladata, hogy a napelemekből nyert egyenáramú energiát váltakozó árammá alakítsák. A naperőmű által megtermelt villamos energia 6 kilovoltos földkábel segítségével jut be a meglévő erőmű újracserélt indító transzformátorához, és onnan a meglévő 120 kilovoltos távvezetéken jut ki a MAVIR detki alállomására.

Az új erőmű – a leegyszerűsített energiatermelés mellett – költséghatékony, és elsősorban környezetbarát. Nem bocsát ki szén-dioxidot, és a primer energiaforrásért – amiből a villamos energiát előállítják – sem kell megküzdeni, hiszen a napfény a napelem modulokkal könnyen begyűjthető, korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre. A napelemek gyakorlatilag hajnaltól kora estig működnek a napos időszakban. A napelem élettartama hosszabb, mint a megtérülés ideje. Huszonöt év múlva a gyártók nyolcvan százalékos energialeadást garantálnak. A naperőmű által megtermelt villamosenergia-mennyiség átlagosan, háztartási léptékben mérve egy kisebb várost – kb. négyezer fő háztartását – képes ellátni zöld energiával.

Az újonnan épülő naperőmű felügyeletéhez csupán csak hat emberre lesz szükség.

A beruházást az erőmű 50%-ban saját erős finanszírozásból, 50%-ban pedig fejlesztési adókedvezmény igénybevételével valósította meg, amelyhez a Nemzetgazdasági Minisztérium 2014-ben adta meg hozzájárulását. A beruházás teljes bekerülési költsége több mint 6,5 milliárd forint volt.

A naperőmű-beruházás több szempontból is kiemelt jelentőséggel bír: a megújuló energiaforrások alkalmazásával hazánk magas energiahordozó importfüggősége csökkenthető, illetve hozzájárul a megújuló energiaforrásból származó villamosenergia-termelés részarányának teljesítéséhez; a környezeti fenntarthatóság és klímavédelem tekintetében pedig mintegy 24 ezer tonnával csökkenti a hazai CO_2-kibocsátást.

A projekt létrejötte magyar, osztrák és román konzorcium együttműködésén alapult. A naperőmű szállítója a Wire-Vill Kft. – IBC Solar GmbH – Energobit S.A. magyar–osztrák–román vállalkozás volt. A hálózati csatlakoztatáshoz szükséges 6/120 kV-os transzformátorokat a CG Electric Systems Hungary Zrt. (korábbi nevén a Ganz Villamossági Művek) szállította.

A naperőmű határidőre és sikeresen teljesítette a próbaüzemét, és az őszi körülményeknek megfelelő alacsonyabb besugárzás ellenére a hálózatra adott teljesítmény meghaladta a 15,6 MW-ot.

Mátrai Erőmű ZRt.

Cukorcirok szirup előállítási technológia fejlesztése laboratóriumi körülmények között

Dr. Cséfalvay Edit, PhD
okl. környezetmérnök, csefalvay@mail.bme.hu

Csendes Kitti Anita
környezetmérnök

Horváth Viktória
környezetmérnök

Stelén Gábor
okl. vegyészmérnök

Magyarországon termesztett cukorcirok növény préslevéből szirupot állítottunk elő két különböző technológiával. A kristályosítás műveletének elhagyásával a folyamat össz energiaigénye csökkenthető. Megvizsgáltuk, hogy a szirup édesítőszerként (a kristályos répacukor alternatívájaként) élelmiszercélú fogyasztásra alkalmas-e, − hiszen a szirup gyorsabb oldódást biztosít, mint a kristályos cukor − és a technológiai lépések hogyan befolyásolják annak összetételét, ízét és színét. Megállapítottuk, hogy a kristálycukor gyártási technológia adaptálása során előállított keserű mellékízű, karamellhez hasonlító ízű és illatú cukorcirok szirup várhatóan csak egy szűk fogyasztói kör tetszését nyeri majd el. A centrifugálást követő mikroszűréssel és nanoszűréssel előállított koncentrált lé bepárlásával előállított szirup azonban megőrizte a kiindulási állapot cukorkomposeinek arányát, és a kíméletesebb eljárásnak köszönhetően világosabb, kellemesebb illatú, és édesebb lett. A technológia félüzemi méretre történő léptéknövelése és gazdasági elemzés szükséges az ipari méretű beruházáshoz.

*

Two technologies were investigated and compared for production of sweet sorghum syrup from juice originating from Hungarian cultivation. The elimination of crystallization step makes the whole process more energy efficient. Since syrup shows better dissolution n water than crystal form sugar, the syrup was tested as natural sweetener to be possible alternative of crystal sugar. The effect of unit operations on the syrup composition, flavor and color was tested. It was shown that the syrup produced by the crystal sugar production technology adapted to sweet sorghum juice has bitter by-flavor, caramel taste and dark color. Syrup produced by centrifugal separation followed by microfiltration and nanofiltration and finally evaporation kept its original carbohydrate ratio, and due to the mild process it was lighter, sweeter and had better odor, than produced by other technology. To achieve an industrially viable process, scale-up and economic assessment has to be performed.

* * *

Magyarországon az első cukorcirokkal kapcsolatos közlemény 1868-ban jelent meg, amely az amerikai termesztés tapasztalatait tárgyalta és az európai éghajlatra való bevezetést prognosztizálta. Közel hetven év elteltével a II. világháború alatt fedezték fel újra a növényt és foglalkoztak cukortartalmának kinyerésével. A kezdetleges módszerekkel előállított, kifogásolható szörp fogyasztása csak a nagy répacukor-hiány idejében volt jelentős, és a cukorgyártás beindulásáig annak szárából kisajtolt és besűrített cukordús szirup helyettesítette a cukrot [1]. A háborút követően a gazdaság és mezőgazdaság helyreállítása után a jól bevált répacukor (szacharóz) kristályosításával nyert cukor jelentette a cukorforrást, így a cirok élelmiszeripari célú termesztése ismét háttérbe szorult. A cukorcirokkal kapcsolatos következő közleményt 1984-ben publikálták, amelyben is a cukorcirok törzsek magyar termőtalajon végzett kísérleteit tárgyalták [2]. Habár a cukorcirok rostból enzimek előállítását már 1996-ban leírták [3], és prognosztizálták a cukorcirok növényből történő etanol előállítást, Magyarországon erre a 2000-es évek közepéig [4, 5], illetve végéig [6] kellett várni. Cukorcirok préslé szubsztráttal működő etanol üzemre technológiai és gazdasági elemzés is készült [7, 8], amely elősegítené az eljárás elterjedését, de a növény minden részét felhasználó biofinomítói technológiát megvalósító üzem azóta sem épült. A cukorcirok konzorcium által vizsgált *„A cukorcirok integrált mezőgazdasági termelési, tárolási, feldolgozási és logisztikai rendszerének kidolgozása”* című NTP projekt célja egy biofinomító kidolgozása volt [9], de mégsem eredményezett átütő sikert, mivel a számítások szerint a gazdaságos besűrítést nagymértékben befolyásolja az adott évben talaj minőségtől és időjárástól függő aratható zöldhozam mennyisége, illetve a préslé cukortartalma. A préslé feldolgozásának laboratóriumi kísérletei sikerrel zárultak, azonban a cukortartalom alapanyagként való hasznosítása tejsav előállítása céljából nem jelentett gazdaságilag vonzóbb célterméket az etanol előállítással szemben [10].

Energetikai célú hasznosítás szempontjából bizonyították, hogy a cukorcirok termesztés során keletkező melléktermékek az állattenyésztésben keletkező híg sertéstrágyához keverve, annak kiegészítőjeként kiválóan növelik a fermentáció során kitermelhető biogáz mennyiségét [11, 12]. A cukorcirok alapon előállított bioüzemanyagok (etanol mellett butanol [13, 14] hidrogén [15, 16, 17, 18] és metán [19]) előállítása akár a termesztési melléktermékekből is megvalósítható [20]. A növényből előállított vegyi anyagok közül az aceton [21], a tejsav [22, 23, 24] és a levulinsav [25] jelentős, de bizonyították, hogy − habár kis mennyiségben − lipidek izolálhatók [26], amelyek biodízel [27] előállítására is alkalmasak.

A biofinomítóval kapcsolatos elgondolások, számítások és magyar termőföldön tapasztalt pozitív termesztési [28], laboratóriumi tárolási [29] és hasznosítási kísérletek [10, 24] ellenére üzemi méretben mégsem alkalmazzák sem energiahordozó, sem vegyi alapanyag előállítására a cukorcirkot. Jelenlegi felhasználást tekintve elsősorban az állati takarmányozásban zöld-takarmányként és silózási alapanyagként felhasználva jó minőségű szilázst készítenek belőle [30], valamint az Agroszemek Kft. forgalmazza a „pop corn” mintájára megjelenő ún. pop cirok terméket és a cirok golyót [31].

Kérdésként merül fel, hogy az Indiában „jaggery” néven elterjedt, cukorcirok préslé besűrítésével előállított méz jellegű, félig kristályos anyag Magyarországon a kihasználatlan cukorgyári kapacitás technológiájával előállítható-e, és ez a termék a kristályos répacukor alternatívájaként élelmiszercélú fogyasztásra alkalmas-e, illetve, a kihasználatlan cukorgyári kapacitás technológiájával előállítható-e; és ha nem, akkor milyen más eljárással lehet ezt megvalósítani? Jelen tanulmányban ezekre a kérdésekre kerestük a választ.

Cukorcirok préslé tárolhatósága

Aratás közben a leveleket és a bugát eltávolítják a növényről, majd a szárat felaprítják. A levágott szárban a tárolás folyamán a cukor invertálódik, amely az önfermentációt, ezzel együtt a szeszesedést és ecetesedést segíti elő, ezért a szárdarabok préselését lehetőség szerint mielőbb el kell végezni. A nyers préslé esetében hasonló a helyzet, ezért annak kezelését rövid időn belül véghez kell vinni, vagy célszerű lefagyasztani.

Korábbi munkánkban bemutattuk, hogy a nyers préslé kombinált előkezelésével (centrifugálás, mikroszűrés, majd fertőtlenített berendezésben történő nanoszűrés) előállított koncentrált ciroklé szobahőmérsékleten akár 3 hónapig is eltárolható mikrobiális befertőződés nélkül abban az esetben, amikor a berendezések tisztítására, mosására Sanosil Super 25 Ag (SS25) fertőtlenítőszert használtuk [29].

A laboratóriumi körülmények között előállított tisztított cukorcirok lé (későbbiekben koncentrált lé) steril üvegbe töltve és lezárva, szobahőmérsékleten tárolva 3 évig megfelelő minőségű maradt. Ezzel bizonyítottuk, hogy az aratási (betakarítási, feldolgozási) időtől függetlenül a koncentrált lé egész évben a rendelkezésünkre áll, mely bármely cukoralapú biofinomítói technológia alapanyaga lehet.

Új irányvonal: cukorcirok szirup, mint édesítőszer

Felvetésünk szerint a koncentrált ciroklé további töményítésével élelmiszer minőségű cukorcirok szirup állítható elő, amely alternatívája lehet különböző természetes édesítőszereknek. A cukorcirok szirup szénhidrátok tekintetében szacharózt, glükózt és fruktózt egyaránt tartalmaz, vagyis édes ízét valódi cukroktól nyeri, szemben a diétás édesítőszerekkel, amelyek valójában cukoralkoholok (például, szorbit, mannit, xilit), vagy több-gyűrűs vegyületek (például stevia). Tekintettel arra, hogy a cukorcirok préslé − hasonlóan a cukorrépa extraktumhoz − közel azonos jellegű szénhidrátokat (glükóz, fruktóz, szacharóz) tartalmaz, megvizsgáltuk, hogy a répacukor gyártási technológiája alkalmas-e cirokszirup készítésre.

A kristályosítás egy drága és nagy energiaigényű művelet, ráadásul a kivitelezését megnehezíti az is, hogy jelen esetben együttkristályosításról van szó, hiszen a cukorcirok préslében a három alap szénhidrát mellett sók is jelen vannak. Habár kristályosítással egy kisebb helyigényű, és könnyebben szállítható kristályos terméket kapunk, a felhasználáskor a cukrot legtöbbször oldat formában fogyasztjuk el. Ezt szem előtt tartva végeztük el kísérleteinket, és a töményítést szirup állagig folytattuk.

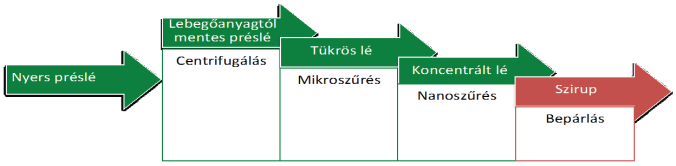
Kísérleti rész

Kísérleteink célja cukorcirok szirup előállítása volt, amelyet kétféle megközelítésből vizsgáltunk:

- „A” kísérletsorozat: a centrifugálás, mikroszűrés, nanoszűrés technológiai lépések során 3 évvel ezelőtt előállított, tárolt koncentrált lé bepárlással történő betöményítése, illetve
- „B” kísérletsorozat: a meglévő répacukor gyártás technológiájának alkalmazhatósági vizsgálata 2014. évi aratású Sucro Sorgho fajtájú cukorcirok préslére.

Centrifugálás, mikroszűrés, nanoszűrés technológiai lépések során előállított koncentrált lé bepárlása („A” kísérletsorozat)

Korábbi munkánkban [29] javasolt technológiával előállított ún. koncentrált lé kis viszkozitású, a minták összcukortartalma 19,2-26,9 Brix érték közötti, éppen ezért szirupnak nem nevezhető. A nanoszűrésnél alkalmazott 35 bar túlnyomással maximálisan ez a töménységi tartomány érhető el, ezért a további koncentráláshoz más műveletet célszerű alkalmazni. A nagy nyomással működő fordított ozmózis (RO) művelete erre nem nyújt megfelelő megoldást, hiszen az RO membránok érzékenyek a felületi kiválásokra, a kivált anyag megsértheti azok felületét, és túl drágák ehhez a lépéshez. A szirup előállításához ezért a bepárlás műveletét választottuk, amely robosztus műveleti egységnek számít az RO-val szemben. A szirup előállítására használt laboratóriumi technológiai sort mutatja be az 1. ábra, amelyen zöld színnel a korábban megvalósított, piros színnel pedig az azt kiegészítő műveleti lépést láthatjuk.



1. ábra. **Az „A” kísérletsorozatban alkalmazott technológiai sor (zöld színnel jelölve a korábban megvalósított műveleti lépések, piros színnel az aktuálisan alkalmazott műveleti lépés)**

A koncentrált levek előállítása során teszteltük különböző élelmiszeriparban is használható fertőtlenítőszerek hatását a szűrőberendezések mosására és fertőtlenítésére. A mikroszűrési kísérletek során tapasztalt SSA25 fertőtlenítő hatása azonban nagy koncentrációban a nanoszűrő membránt károsította, ezért többféle hígítást is vizsgáltuk hatásosság szempontjából. Az ötszörös hígítású SS25 jelentős fertőtlenítő hatással bír, azonban a nanoszűrő membránt már nem károsítja. Az egyes minták előállításánál alkalmazott különböző fertőtlenítő szereket mutatja be az 1. táblázat, amelyek a bepárlás műveletének kiindulási mintái.

1. táblázat. Az „A” kísérletsorozatban a bepárlás során használt kiindulási levek jellemzői

Minta száma	Fertőtlenítőszer a mikroszűrésnél [32]	Fertőtlenítőszer a nanoszűrésnél [33]	Koncentrált lé Brix értéke
1	70 m/m% etanol	100-szoros hígítású SS25	26,9
2	70 m/m% etanol	100-szoros hígítású SS25	26,8
3	cc. citromsavoldat	100-szoros hígítású SS25	26,4
4	cc. citromsavoldat	50-szeres hígítású SS25	25,8
5	cc. citromsavoldat	50-szeres hígítású SS25	26,1
6	cc. SS25	5-szörös hígítású SS25	23,7
7	cc. SS25	5-szörös hígítású SS25	19,2

A bepárláshoz Heidolph Laborota 4000 rotációs vákuumbepárló készüléket alkalmaztunk a 2. táblázatban bemutatott nyomásprogram szerint.

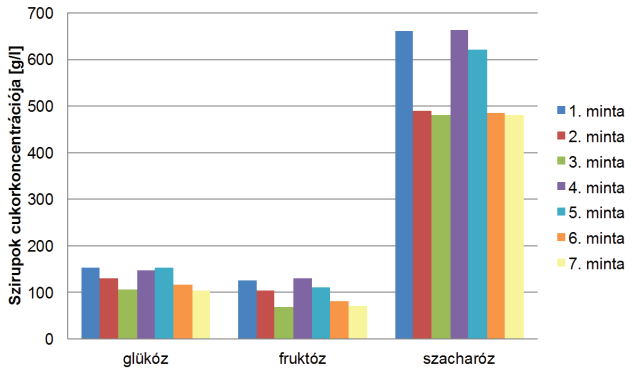
2. táblázat. Áthordás elkerülése érdekében kidolgozott, bepárlás során alkalmazott nyomásprogram

Nyomás [Torr]	200	150	125	100	80	60	40	20
Működési idő [min]	2	2	2	2	2	2	4	Szirup töménység eléréséig

Az áthordás, cseppelragadás és habzás elkerülésére 10 µl élelmiszeriparban használatos DC-1510-US típusú, Dow Cornings gyártmányú habzásgátló [34] adagolása mellett a mintákat állandó 65 °C-os vízfürdőben tartottuk. Az előkísérletek során kiderült, hogy a

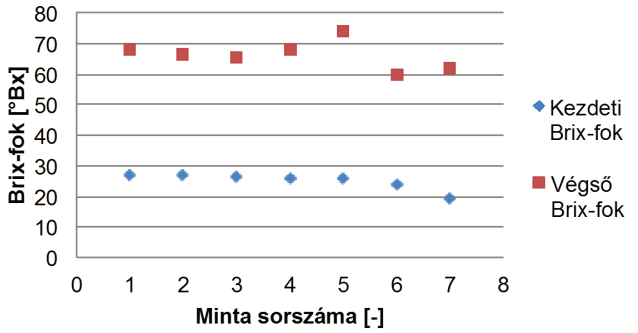
65 °C alatti fürdőhőmérsékleten a folyamat nagyon lassú, e felett pedig a karamellizáció mértéke növekszik.

A nanoszűrés retentátumának, vagyis a koncentrált lének 100 milliliteréből kiindulva átlagosan 26 ml (40 g) szirupot sikerült előállítanunk úgy, hogy cukortartalmuk legnagyobb része szacharóz volt (átlagosan 71,17 m/m%), de emellett glükóz (átlagosan 16,51 m/m%) és fruktóz tartalmuk (átlagosan 12,32 m/m%) is jelentős volt. A szirupok esetében a glükóz 104-152 g/l, a fruktóz pedig 68-130 g/l koncentráció tartományban mozgott, és összemérhető volt a szacharóz (481-663 g/l) koncentrációjával. A cukortartalom elemzését enzimes módszerrel végeztük [35] Jasco 7800 típusú UV-VIS spektrofotométeren.



2. ábra. **Centrifugált, mikroszűrt, nanoszűrt és bepárolt minták glükóz, fruktóz, szacharóz tartalma**

A szirupok átlagos cukortartalmának mólarányát tekintve glükóz : fruktóz : szacharóz = 1,36 : 1 : 3,07 értéket kaptuk, amely közel áll a kiindulási mólarányhoz (glükóz : fruktóz : szacharóz = 1,26 : 1 : 4,46), így a betöményítés sikeresnek mondható. A Brix-ben mért összcukortartalmat vizsgálva (lásd 3. ábra) megállapíthatjuk, hogy kivétel nélkül minden minta sziruppá (Brix > 60) sűríthető.

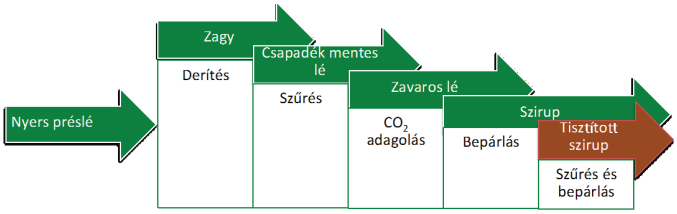


3. ábra. **Az "A" kísérletsorozat esetében a bepárlási lépésnél mért kiindulási és végső Brix értékek**

A kristálycukorgyártási technológia alkalmazásának vizsgálata („B" kísérletsorozat)

A kristálycukorgyártási technológia alkalmazhatóságát a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Környezetbiztonsági Főosztály által kiadott, „Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához a cukorgyártás terén" [36] című dokumentum alapján vizsgáltuk.

A laboratóriumi kísérletek során a javasolt technológiát adaptáltuk a cukorcirok présléhez és így mésztejes derítést, szűrést, indirekt szénsavazást (CO_2 adagolás), bepárlást alkalmaztunk a szirup előállítására (lásd 4. ábra).

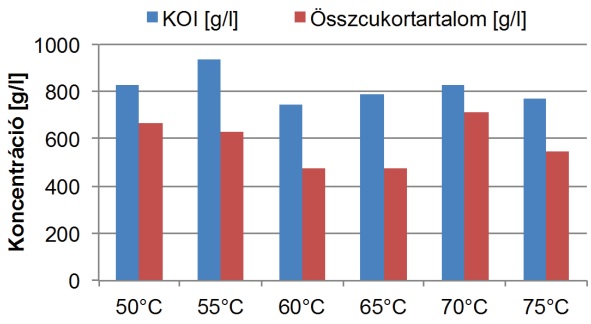


4. ábra. **A „B" kísérletsorozatban alkalmazott technológiai sor sémája**

A kísérleteket több hőmérsékleten végeztük el (50 °C-tól 75 °C-ig 5 °C lépésközökkel) vizsgálva az optimális derítési és bepárlási hőmérsékletet. A cukoripari útmutatóban foglalt főderítési lépést (80-90 °C), illetve a második szénsavazást a cukorcirok esetében nem tudtuk kivitelezni, mivel az anyag káros mellékreakciókra hajlamosnak bizonyult (karamellizáció, Maillard reakció), emellett a főderítés során alkalmazott 12-es pH értéket sem sikerült beállítani. A 75 °C hőmérsékleten kivitelezett eljárások a cukorrépa alapú cukoriparban megfelelőek, azonban az elvégzett kísérletek alapján megállapítható, hogy cukorcirok esetében nem alkalmazhatók, mert ez a hőmérséklet kedvezőtlenül hat a szirup ízére, másodsorban a színére.

A keletkezett szirupok jellemzésére azok cukorkoncentrációinak meghatározását és a kémiai oxigénigény mérését (KOI) végeztük el. A cukortartalom elemzését a fent említett enzimes módszerrel [35], a KOI mérést dikromátos módszer szerint MSZ ISO 6060: 1991 szabvány alapján végeztük [37].

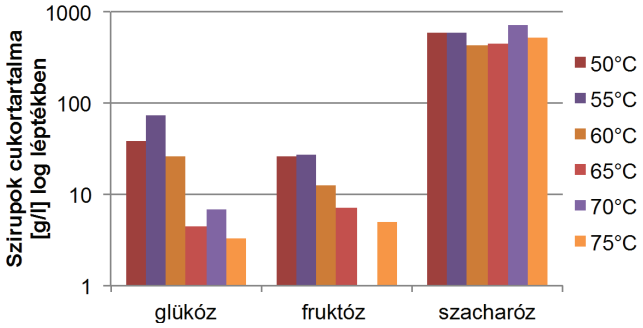
A KOI mérés eredményeit az összcukortartalommal (glükóz + fruktóz + szacharóz) összehasonlítva megállapítottuk, hogy a cukortartalmon kívül egyéb szerves anyag is található a szirupokban.



5. ábra. **Kémiai oxigénigény (KOI) és összcukortartalom a különböző hőmérsékleten előállított szirupok esetén**

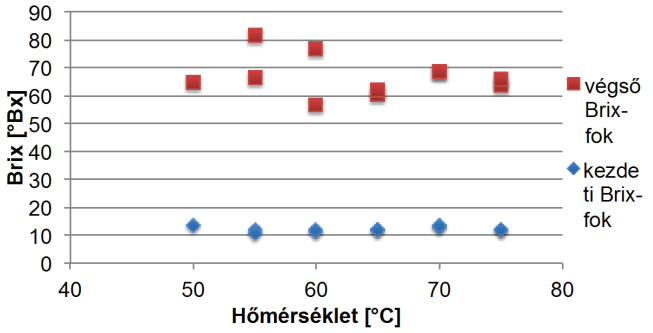
A legkisebb eltérést a 70 °C-on végzett kísérlet esetében tapasztaltuk, azonban a cukrok komponensmérlege jelentős eltérést mutat. A glükóz, fruktóz, szacharóz tartalmat a hőmérséklet függvényében ábrázolva az alábbi eredményeket kaptuk (lásd 6. ábra).

Megállapítható, hogy a glükóz- és fruktóztartalom a hőmérsékletemelés hatására olyannyira lecsökkent, hogy a szacharóz tartalommal való összehasonlítás érdekében logaritmikus léptékben kellett ábrázolni a koncentrációkat. Megállapítható, hogy a mésztejes



6. ábra. **A "B" kísérletsorozatban előállított szirupok összcukor tartalmának megoszlása g/l-ben különböző hőmérsékleteken**

derítés és a hőmérséklet emelése együttesen a glükóz és a fruktóz elbomlásához vezet.



7. ábra. **A "B" kísérletsorozat során mért (nyers préslevek kezdeti és a szirupok végső) Brix értékek**

A cukrok mólarányát tekintve a kiindulási glükóz : fruktóz : szacharóz = 1,26 : 1 : 4,46 értékhez képest a szirupokban mért mólarányok átlagosan glükóz : fruktóz : szacharóz = 1,54 : 1 : 20,05, amely értékből arra következtethetünk, hogy a fruktóz bomlott el leginkább, de nagyon hasonló mértékben bomlott a glükóz is. A tesztelt répacukor gyártási technológia során a szacharózt tudjuk konzerválni, és arányokat tekintve a monomerek elbomlásával drasztikusan megnöveltük a szacharóz arányát. Az eredeti szénhidrát arányt legjobban közelítő szirupot a 65 °C-on derített és bepárolt minta esetében kaptuk (glükóz : fruktóz : szacharóz = 1,51 : 1 : 5,08).

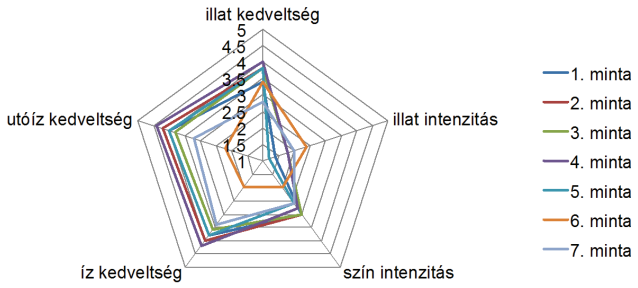
Habár az eredeti cukorkomponensek mólarányát nem sikerült megtartani, a betöményítés mégis sikeresnek mondható, mert a mintákat − egy kivételével − 60 Brix-fok felettire tudtuk betöményíteni, átlagosan 66,9 Brix-fok töménységre (lásd 7. ábra).

Az „A" és „B" kísérletsorozatok során előállított szirupok élelmiszeripari felhasználását azonban az organoleptikus vizsgálat dönti el.

Szirupok organoleptikus vizsgálata – fogyasztói igényfelmérés

A szirupok organoleptikus vizsgálatát ötfős csoport végezte (laikus bírálók), akik a vizsgálat napján nem fogyasztottak koffein tartalmú élelmiszert és nem dohányoztak, ezen kívül egészségi állapotuk megfelelőnek bizonyult a vizsgálat elvégzéséhez. Az organoleptikus vizsgálat során a bírálók a különböző szirupok illat-, íz- és utóíz kedveltségét pontozták 1-től 5-ig terjedő skálán, ahol 1 a legrosszabb, 5 a legjobb minősítést jelentette. A szirupok illat- és szín intenzitásának értékelésénél azonban a 3-as érték volt az ideális, mivel a túl intenzív illatot és a túl sötét színt a fogyasztók kevésbé kedvelik.

A koncentrált lé bepárlásával keletkező szirupok („A" kísérletsorozat) organoleptikus értékelése

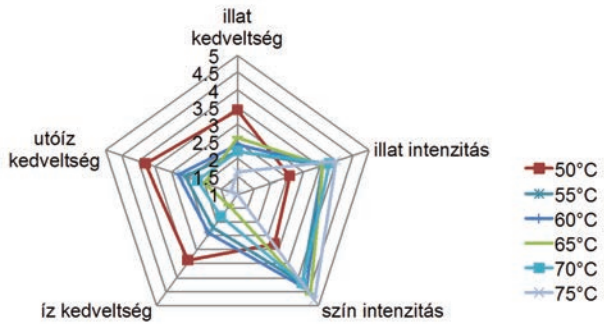


8. ábra. **A koncentrált lé bepárlásával keletkező szirupok organoleptikus értékelése**

A fenti paraméterek szerinti értékelést az általunk javasolt technológiai sort követő bepárolt szirupokra elvégezve a minták illat intenzitása enyhe volt és karamelles, illetve égett íz egyálatlán nem volt érezhető. Színük világos, a legsötétebb is méz színű volt. A minták íze egységesen elnyerte a bírálók tetszését, de az édes ízt követően enyhén savanykás utóíz érződött. Az 5. számú minta bizonyult összességében a legkedveltebbnek, mivel ennek utóíze érződött legkevésbé.

Kristálycukorgyártási technológiával előállított cukorszirupok értékelése

A 9. ábra alapján az látható, hogy az 50 °C-on derített és bepárolt szirupot kedvelték a bírálók a legjobban, annak íze, utóíze és illat kedveltsége volt a legmagasabb. A többi minta színe intenzívebb (sötétebb), illatuk pedig karamellhez hasonló volt. Ez utóbbi is a karamellizáció jelenlétére utal. Az utóízek tekintetében kesernyés íz érződött, amelyet vagy a hőmérséklet, vagy a mésztej hozzáadása, vagy a kettő együttesen okozta.



9. ábra. **Kristálycukorgyártási technológiával előállított cukorszirupok organoleptikus értékelése**

A bírálók leírásából is látható, hogy a hőmérséklet emelésével − a vártaknak megfelelően − nemcsak a szín intenzitása, hanem az íz intenzitása és a karamellizáció mértéke is növekedett, a termék keserű utóíze fokozódott, amely csak egy nagyon szűk fogyasztói körben biztosít eladható terméket.

Következtetés, javaslat, összefoglalás

Élelmiszeripari termék előállításakor az elsődleges cél, hogy egy fogyasztók által kedvelt, jó ízű, tetszetős és egészséges terméket állítsanak elő, amelyre nagy kereslet várható. Ehhez természetesen vizsgálni kell az előállítás várható költségét, az eladásból származó bevételt és megtérülési időt. Jelen tanulmánynak nem volt célja a gazdasági szempontok vizsgálata, csak annak megállapítása, hogy a két vizsgált technológiai sor közül melyik lehet alkalmas arra, hogy élelmiszerminőségű cukorcirok szirupot állítsunk elő, illetve mely alkalmazásával lehet kedveltebb terméket gyártani a leendő fogyasztók számára. A kristályosítás kérdéskörét energetikai szempontok miatt elvetettük, mivel ez annyira megdrágítaná a terméket, hogy nem lenne versenyképes más édesítőszerekkel szemben.

Laboratóriumi kísérleteink alapján megállapítottuk, hogy a kristálycukorgyártási technológia adaptálása során előállított keserű mellékízű, karamellhez hasonlító ízű és illatú cukorcirok szirup várhatóan csak egy szűk fogyasztói kör tetszését nyeri majd el. A forgalomba kerülést további gátló tényező lehet az is, hogy a kiindulási préslében található glükóz és fruktóz csaknem teljes mértékben elbolmott/átalakult, és csak a szacharóz tartalmat sikerült konzerválni. A kutatócsoport által javasolt kezelési technológiával előállított koncentrált lé bepárlásával előállított szirup azonban megőrizte cukorkomposeinek arányát, és a kíméletesebb (alacsonyabb hőmérsékletű) eljárásnak köszönhetően világosabb, kellemesebb illatú, és édesebb, mint az előző technológiával előállított termék. A továbbiakban a technológia félüzemi méretre történő léptéknövelését, és gazdasági elemzését tervezzük elvégezni.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Coopinter Kft-nek a cukorcirok préslevek biztosításáért, Runda Istvánnak a szakmai támogatásáért.

A munka szakmai tartalma kapcsolódik a „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 program támogatta.

Irodalomjegyzék

[1] Telegdy-Kovats László, Fa- es cirokcukor 1947, Budapest: Egyetemi Nyomda.
[2] Kapocsi István, Lazányi János, Kovács Béla, A cukorcirok törzsek és hibridkombinációk termőképességének vizsgálata hígtrágyával öntözött területen, Növénytermelés, 1984. (33. évf.) 6. sz. 529-534. old.
[3] Robert P. Tengerdy, György Szakács, József Sipőcz, Bioprocessing of sweet sorghum with in situ-produced enzymes, Applied Biochemistry and Biotechnology, 1996. Volume 57-58, Issue 1, pp 563-569
[4] Réczey Jutka, Kádár Zsófia, Réczey Istvánné, A cukorcirok, mint lehetséges bioetanol alapanyag (I.) Bio energia, 2007. (2. évf.) 4. sz. 27-29. old.
[5] Réczey Jutka, Kádár Zsófia, Réczey Istvánné, A cukorcirok, mint lehetséges bioetanol alapanyag (II.), Bio energia, 2007. (2. évf.) 4. sz. 24-27. old.
[6] Gyalai-Korpos, Miklós, Feczák János, Réczey Istvánné, A Monori Édes cukorcirok, mint lehetséges bioetanol alapanyag, Bio energia, 2008. (3.évf.) 3.szám 25-29. old.
[7] Barta Zsolt, Experimental and techno-economic approaches in improvement of the lignocellulosic –ethanol process, PhD értekezés, 2011, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest
[8] Barta Zsolt, Dienes Dóra, Réczey Istvánné, Hogyan tehető gazdaságossá egy cukorcirok alapú alkoholgyártó kisüzem. LI. Georgikon Napok, 2009. Keszthely.
[9] „A cukorcirok integrált mezőgazdasági termelési, tárolási, feldolgozási és logisztikai rendszerének kidolgozása” című (azonosító: C_CIROK1, szerződésszám: TECH_08_A3/2-2008-0401) NTP projekt
[10] Hetényi Kata Zsuzsanna, Biofinomító technológiáinak optimálása, PhD értekezés, 2010, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest
[11] Kalmár Imre, Kalmárné Vass Eszter, Szabó Emese, A cukorcirok mint egy lehetséges biogázhozam-fokozó adalékanyag, XXXI. MTA-AMB K+F Tanácskozás, Gödöllő, 2007. Január 23., 75-79.old.
[12] Gyuricza Csaba, A cukorcirok termesztése energetikai hasznosításra. Agro Napló, 2008. (12.évf.) 4.sz. 75-76.old.
[13] Y. Cheng, S. Li, J. Huang, Q. Zhang, X. Wang, Production of acetone and butanol by fermentation of sweet sorghum stalk juice, Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2008, Vol. 24, pp. 177–180
[14] T. Zhang, N. Du, T. Tan, Biobutanol production from sweet sorghum bagasse, J. Biobased Mater. Bioenergy, 2011, Vol. 5. pp. 331–336
[15] G. Antonopoulou, H. Gavala, I. Skiadas, K. Angelopoulos, G. Lyberatos, Biofuels generation from sweet sorghum: fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass, Bioresour. Technol., 2008, Vol. 99, pp. 110–119
[16] I. Ntaikou, H.N. Gavala, G. Lyberatos, Application of a modified anaerobic digestion model 1 version for fermentative hydrogen production from sweet sorghum extract by Ruminococcus albus, Int. J. Hydrogen Energy, 2010, Vol. 35, pp. 3423–3432
[17] I.A. Panagiotopoulos, R.R. Bakker, T. de Vrije, E.G. Koukios, P.A.M. Claassen, Pretreatment of sweet sorghum bagasse for hydrogen production by Caldicellulosiruptor saccharolyticus, Int. J. Hydrogen Energy, 2010, Vol. 35, pp. 7738–7747
[18] P. Saraphirom, A. Reungsang, Biological hydrogen production from sweet sorghum syrup by mixed cultures using an anaerobic sequencing batch reactor (ASBR), Int. J. Hydrogen Energy, 2011, Vol. 36, pp. 8765–8773
[19] E. Klimiuk, T. Pokój, W. Budzynski, B. Dubis, Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents, Bioresour. Technol., 2010, Vol. 101, pp. 9527–9535
[20] Cecilia Hodúr, Zsuzsanna László, Giovana Tommaso, Novel Technologies in Food Science, Integrating Food Science and Engineering Knowledge into the Food Chain Food 2012, Volume 7, By-products for Biofuels, pp 39-64, Date: 11 Oct 2011
[21] Y. Cheng, S. Li, J. Huang, Q. Zhang, X. Wang, Production of acetone and butanol by fermentation of sweet sorghum stalk juice, Trans. Chin. Soc. Agric. Eng., 2008, Vol. 24, pp. 177–180
[22] W.A. Samuel, Y.Y. Lee, W.B. Anthony, Lactic acid fermentation of crude sorghum extract, Biotechnol. Bioeng, 1980, Vol. 22, pp. 757–777
[23] K. Richter, C. Berthold, Biotechnological conversion of sugar and starchy crops into lactic acid, J. Agric. Eng. Res., 1998. Vol. 71, pp. 181–191
[24] K. Hetényi, K. Gál, Á. Németh, B. Sevella, Use of sweet sorghum juice for lactic acid fermentation: preliminary steps in a process optimization, J. Chem. Technol. Biotechnol., 2010 Vol. 85, pp. 872–877
[25] Gyula Novodárszki, Nóra Rétfalvi, Gábor Dibó, Péter Mizsey, Edit Cséfalvay, László T. Mika, Production of platform molecules from sweet sorghum, RSC Advances, 2014, Vol. 4, pp. 2081-2088
[26] C. N. Economou, A. Makri, G. Aggelis, S. Pavlou, D.V. Vayenas, Semi-solid state fermentation of sweet sorghum for the biotechnological production of single cell oil, Bioresour. Technol., 2010, Vol. 101, pp. 1385–1388
[27] C. Gao, Y. Zhai, Y. Ding, Q. Wu, Application of sweet sorghum for biodiesel production by heterotrophic microalga Chlorella protothecoides, Appl. Energy, 2010, Vol. 87, pp. 756–761
[28] Barabás Nándor, Kovács László, Tömösközi Sándor, Cukorcirok-energia a szántóföldről, Agrárium, 2011. (21.évf.) 5. sz. 48-49. old.
[29] Cséfalvay Edit, Barabás Nándor, Géczi Nikoletta, Mizsey Péter, Németh Áron, Tömösközi Sándor, Cukorcirok préslé eltarthatóságának vizsgálata, Energiagazdálkodás, 2013, (54. évf.) 1-2.sz. 9-12. old.
[30] Vincze László, A kukorica és a cirok-félék termesztése és hasznosítása, Magyar állattenyésztők lapja, 2014. (19. évf.) 8. sz. 32-34. old.
[31] www.agroszemek.hu
[32] Géczy Nikoletta, Fertőzésgátlás és szűrés intenzifikálás cukorcirok préslé betöményítése esetén, BSc szakdolgozat, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest 2012. május
[33] Ngwem Kelle Lionel, Concentration of sugar containing solutions by membranes, MSc thesis, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest 2014. január
[34] Dow Corning Corporation, DOW CORNING® ANTIFOAM 1510 – US, http://www.dowcorning.com/
[35] Megazyme International, Sucrose, D-fructose and D-glucose assay procedure (K-SUFRG 06/14), http://secure.megazyme.com/files/Booklet/K-SUFRG_DATA.pdf
[36] Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Környezetbiztonsági Főosztály, Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához a cukorgyártás terén, Budapest 2005. május
[37] MSZ ISO 6060: 1991 szabvány

Elektrosztatikus porleválasztó biomassza tüzelésű kazánokhoz 100 kW teljesítményig

Alexander Bernhardt
bernhardt@izes.de

Dr. Bodo Groß
gross@izes.de

Lezsovits Ferenc
lezsovits@energia.bme.hu

A biomassza tüzeléses rendszerek alkalmazása egyre népszerűbb. Egyrészről ezáltal bővíthető a megújuló energiaforrások felhasználása, másrészről csökkenthető ezáltal a fosszilis energiahordozóktól, földgáztól való függés. Azonban az üdvözítő folyamatok mellett a folyamat mellékhatásaként a szilárd tüzelőanyag hamutartalmának egy része mint pernye egy része a környezetbe kerülve megnöveli a levegő porterhelését, ami szmog kialakulásához és egészségkárosodáshoz vezethet. Főként a háztartási méretű 100 kW-ig terjedő tartományban a biomassza tüzelésű rendszerek semmilyen leválasztó berendezéssel sincsenek ellátva. Ebben a cikkben a vázolt probléma egyik megoldási lehetőségeként az ilyen kisteljesítményű biomassza kazánok elektrosztatikus porleválasztóval való kiegészítési lehetőségét vizsgáltuk, amelyik technológiát az erőműtechnikában már sikerrel alkalmazzák. Első lépésben összefoglaljuk az elektrosztatikus porleválasztóira vonatkozó elméletet, utána az IZES gGmbH által végzett fejlesztések konkrét eredményeit ismertetjük.

*

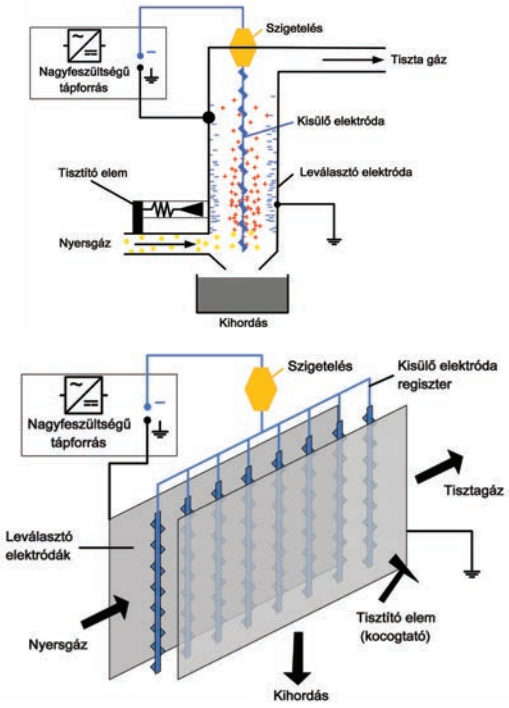
Application of biomass fired systems has become more and more popular. By means of these applications on one hand share of renewables can be increased, on the other hand dependence on fossil fuels mainly from natural gas can be reduced. But besides these advantageous procedures, a certain part of ash of the fuel is going out to the environment as flying ash. This is increasing the particulate pollution of the environmental air, that can led to smog formation or even to health damage. Mainly household scale appliances up to 100 kW capacity, have not got still any filtering device. In this article one pollution reduction possibility is introduced, how to amend small scale biomass fired boilers with electrostatic precipitator, which technology has already been used in power station technologies with success. In the first step theoretical background is summarized, after that results of research and development performed by IZES gGmbH is introduced.

* * *

Az elektrofilter felépítése

Az elektrofiltereket már sok évtizede használják arra, hogy füstgázokból részecskéket válasszanak le. Elsősorban a nagy ipari berendezésekben (1 MW-nál nagyobb tüzelési teljesítmény) terjedt el széles körben ez, a 20. század eleje óta alkalmazott eljárás. Az elektrofiltereket manapság főként füstgáz tisztításra alkalmazzák szilárd tüzelőanyaggal üzemelő erőművekben és fűtőművekben, de a nagyipar sok más területén (pl. kohók, öntödék, acél- vagy cementművek) is használják ezeket a termék-, vagy a füstgáz tisztítására. Az elektrofilterek nagyipari alkalmazásán túlmenően az utóbbi években egyre szélesebb körben kiterjesztik használatukat a kisebb teljesítménytartományú rendszerekre is. Ugyanis a finom por emisszió az emberi szervezetre bizonyítottan egészség károsító hatású. De az elektrofilterek alkalmazása kisebb teljesítményű rendszerekre még nem kiforrott, piacéretté fejlesztésükre van szükség. Az elméleti alapokat és a fizikai jelenségeket ugyan kisebb léptékre is alkalmazhatjuk, de ezeknél merőben mások a keretfeltételek, mint az ipari alkalmazásoknál. A gazdaságosság a legfontosabb különbség: a nagyüzemek (pl. erő-művek) porleválasztói a beruházásnak inkább kicsiny költségrészét teszik ki; a kis berendezéseknél ezek költsége gyorsan eléri a kétszámjegyű százalékarányt. A háztartási tüzelőberendezéseknél a pénzügyi szempont a legerősebb korlátozó tényezője a kis elektrofilterek fejlesztésének. További probléma a helyhiány, a nagyfeszültségű komponensek közvetlen közelsége és hozzáférhetősége, mivel az újonnan kifejlesztett kisméretű készülékeket gyakran hozzá nem értők üzemeltetik. Még ha az utóbbi években Németországban és főleg a szomszédos alpesi országokban folyt is sok és sikeres fejlesztés, ennek a technikának az általános elterjedése a kisebb berendezéseknél máig hiányzik.

Sok mák más műszaki rendszerhez hasonlóan az elektrofilternek is számos különböző felépítése és kivitele van és különböző elemekből áll. Esetenként nedvesen működő elektrofiltereket is alkalmaznak, melyekben az elektródákat vízzel takarítják le. Az elektrofilter alapvetően négy elemből áll: nagyfeszültségű tápforrás, kisülő elektróda, leválasztó elektróda és tisztító elem. A leválasztó elektróda kivitele alapján az elektrofiltert alapvetően csöves, vagy lemezes szerkezetűek.



1. ábra. **Egy csöves és egy lemezes elektrofilter sematikus ábrázolása**
Forrás: Saját leírás (IZES gGmbH)

A nagyfeszültségű tápforrás és vezérlőegység állítja elő az elektrosztatikus feltöltéshez szükséges elektromos feszültséget. Az elektrosztatikus mező felépítésére általában nagy, egészen 100 kV-ig terjedő negatív feszültség szolgál. Ritkán alkalmaznak váltakozó feszültsé-

get is, hogy például a pulzáló feszültség-lefutással még hatásosabb leválasztást érjenek el. A kisülő elektróda a centrális elem. Ez a leválasztó elektródától pontosan meghatározott távolságban helyezkedik el, és legtöbbször drót / rúd kialakítású. Itt is számos geometriai változat létezik a nagyon vékony sima drótoktól indulva az erős de szögletes vagy tüskés (sarkantyús) rudakig. Fontos a jó elektromos vezetőképesség, a mechanikai terhelhetőség és az éles sarkú geometria, ahonnét az elektromos erővonalak kiindulhatnak. A kisléptékű berendezéseknél, a nagyokkal ellentétben, kompromisszumot kell találni a mechanikai terhelhetőség (ennek oka a szűkös hely) és az éles sarkú geometria között. Ugyanígy a helyhiány miatt a kis léptékű berendezésekben a két elektróda közötti elektromos szigetelés nehezen valósítható meg. A nagy, ipari berendezésekben keramikus szigeteléseket alkalmaznak, amelyeket friss levegővel történő átöblítés, vagy fűtés pormentesen és szárazon tart. Kisebb léptékben ezeket a részleteiben műszakilag igényes műszaki megoldásokat elsősorban az egész rendszer gazdaságos megvalósíthatósága és a háztartáson belüli alkalmazhatósága hiúsítja meg. A leválasztó elektróda a föld potenciál, lehetőleg nagy és jó elektromos vezető felület. A nagyüzemi elektrofilterek legtöbbször lemezes kialakításúak, melyekben a gáz gyakran többszáz olyan járaton halad át, melyek lemezalakú leválasztó elektródákból és közéjük helyezett rudakként kialakított kisülő adó elektródákból áll. A kis berendezésekben gyakran csöves elektrofiltereket alkalmaznak, mivel ezeket közvetlenül a tüzelőberendezés füstgáz szekciójába (kürtő) lehet beépíteni. De itt megvalósíthatók a lemezes, vagy a vegyes kialakítású elektrofilterek, figyelembe véve a konstrukció költségeit. Az elektromos komponensek mellett, amelyek a részecskék feltöltésére és leválasztására szolgálnak, a le-választott por eltávolítására szolgáló elem az elektrosztatikus porleválasztónak ugyanígy fontos és a működőképességhez szükséges része. A kisülő és a leválasztó elektródákat periódikusan portalanítani, ill. tisztítani kell a két elektróda közötti elektromos szigetelés fenntartásáért, továbbá füstgáz kivezetésen fellépő túlzott nyomásesést elkerülendő. A nagy berendezésekben a tisztítás általában az elektródák kocogtatásával, vagy lerázásával történik. A kisléptékű berendezéseknél ettől eltérően ez a módszer nehezen alkalmazható, mivel a kisebb méretű komponensek mechanikailag kevésbé terhelhetőek. A kisméretű készülékekben lerakódott pornak a mechanikus úton történő tisztítással járó felkavarását ugyanígy feltétlenül el kell kerülni a kis áramlási keresztmetszet miatt. A lerakódott port mindkét esetben a hamu-fiókban, vagy táskában gyűjtik össze, és manuálisan periódikusan ürítik.

A gáz kisütése és a részecskék feltöltése

Coulomb és az elektromos mező

Az elektrofilterek, de főként az elektródák geometriáját az elektromos mező fizikai tulajdonságai határozzák meg. A szilárd elektromos vezetőkkel ellentétben (mint pl. egy réz kábelben), melyekben az elektromos energia transzportot a szabad töltéshordozóknak (elektronoknak) mozgása okozza, a gázok alapállapotban szinte egyáltalán nem bírnak szabad töltéshordozókkal [1]. Így a gázokat első közelítésben elektromos szigetelőknek tekinthetjük. Emiatt a részecskék feltöltése, vagy az ionizáció a füstgázban csak egy bizonyos feszültség elérésével érhető el, hogy a körülvevő füstgáz szigetelő hatását legyőzzük. Ennek a feszültségnek a gázra gyakorolt hatása nélkül a porszemek nem ionizálhatók, mivel olyan szabad töltéshordozók nem állnak rendelkezésre, amelyek energetikailag képesek lennének a porszemeket kellőképpen feltölteni. Ugyanez az elektromos erő, amely a feltöltött részecskéket a leválasztó elektróda irányában gyorsítja, okozza a töltéshordozóknak a létrehozott feszültség melletti áramlását. A két töltéshordozó (Q_1 és Q_2) között ható erőt, amely tetszőleges hosszúságú szakaszon hat bármelyik töltés-hordozóra, a Coulomb-törvény adja meg [2]:

$$F_{el} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \tag{1}$$

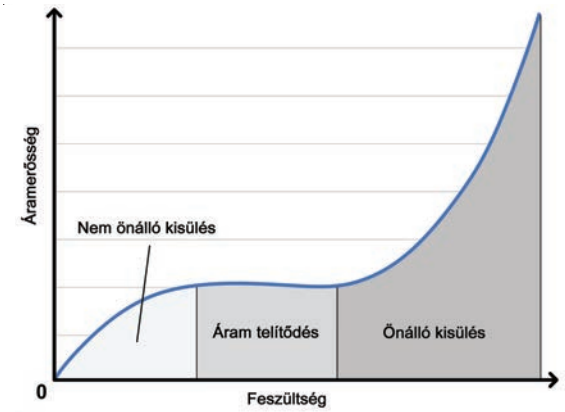
Ezt a hatást (a Coulomb erőt) az elektromos mező idézi elő, amely a tér mindenegyes pontjához elektromos potenciált rendel hozzá [2]. Az elektromos mező egyébként egy, a valóságot erősen leegyszerűsítő és szemléletes modellje az elektromos koncentráció különbség által előidézett rotációmentes forrásmezőnek. Az elektromos erővonalak szemléltetik ezt a potenciált, úgy hogy a magasabbtól az alacsonyabb potenciál felé futnak, és egymást nem keresztezik. Minél nagyobbak a koncentráció különbségek (E az elektromos térerő), annál nagyobb a Q töltésre ható F_{el} Coulomb-erő [2]:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{Q} \tag{2}$$

Elektromos térben ezek az erők az összes, az erőtérben lévő töltéshordozóra (feltöltött gázmolekulákra, ionokra, elektronokra, és a feltöltött porszemekre) egyaránt hatnak. Ez a töltéshordozókat az erővonalak mentén az ellentétes polaritás irányában gyorsítja [3]. Különbséget kell tennünk a homogén és az inhomogén elektromos erőterek között. A homogén erőterekben az erővonalak párhuzamosan futnak és a potenciál eloszlás egyenletes. Homogén az erőtér például azokban a kondenzátorokban, melynek elektródái lemezek. Az inhomogén mezők különböző pontjaiban a nem párhuzamos erővonalak lokálisan erősen összesűrűsödnek, így bennük a potenciál eloszlás nem egyenletes, és ez az elektromos térerő aszimmetrikus eloszlását okozza. Inhomogén mező alakul ki az egyenetlen geometriájú elektródákon, például az éles sarkokon, csúcsokon, vagy a nagyon vékony elemeken. A porszemek leválasztásához egyrészt a porszemeket ionizálni képes szabad töltéshordozók megléte, másrészt a töltéssel rendelkező porszemeket szállító elektromos tér szükséges.

A gázkisülési karakterisztika

Ha az elektrofilter elektródái között feszültség különbség áll fenn, kisülés által szabad töltéshordozók szabadulhatnak fel, és ezek a koncentráció kiegyenlítése céljából áramlanak. A gáz és a kisülés által felszabadított töltéshordozók viselkedése a rákapcsolt feszültség függvényében változik. A 2. ábrán az ideális gázban bekövetkező változás látható a növekvő villamos feszültség függvényében [4].

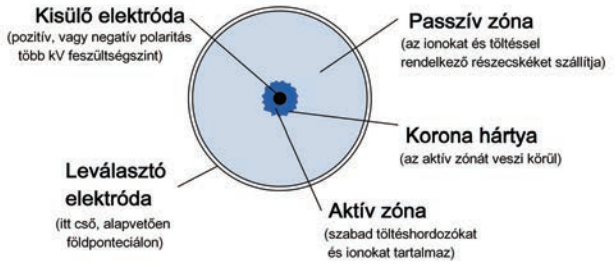


2. ábra. **Az ideális gáz karakterisztikus kisülési görbéje**
Forrás: Saját leírás (IZES gGmbH)

A rákapcsolt feszültség fokozatos növelésével az elektronok árama (vagyis az elektromos áram) kezdetben a feszültséggel arányosan nő. Ezzel a gáz villamos vezetőképessége nő. A feszültséget folyamatosan növelve először a nem önálló kisülés szakaszán haladunk át [4]. Ez a tartomány jellemzi a természetes kisülést is, amelynél pl. a foto- vagy a termo-elektromos hatás szabadítja fel a töltéshordozókat. Ezen a szakaszon a rekombináció, vagy az erővonalak menti elvándorlás több töltéshordozót tüntet el, mint amennyi képződhet. Ekkor a gáz ohmos ellenállásként viselkedik. A feszültséget tovább növelve egy meghatározott pontban a keletkező és eltűnő töltésmennyiség egyenlővé válik. Az árammal való telítettségnek ebben az állapotában az áramerősség a növekvő feszültség ellenére álladó marad. Csak a jelleggörbe 2. ábra szerinti második inflexiója utáni szakaszon keletkezik több töltéshordozó, mint amennyi eltávolítható, és ekkor önálló, stabil kisülés jön létre [1], [5]. Az önálló kisülésnek ezen a stabil szakaszán sokféle kisülési folyamat léphet fel, például korona-kisülés, a szikrakisülés, glimm-kisülés, vagy ívfény (átütés) [1]. Átütéskor a gáz eléri a maximális vezetőképességét, és a két elektróda között egy folytonos vezető csatorna képződik, amelye át a meglévő töltéshordozók lökésszerűen lefolynak.

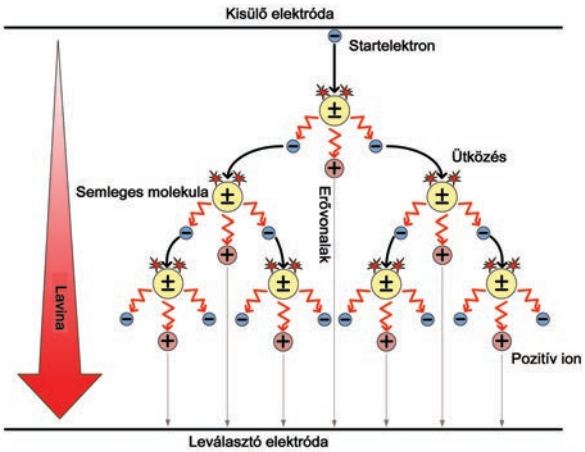
Koronaképződés

Azonban a teljes kisülési pont előtt részleges kisülések következnek be, pl. a korona-kisülés. A glimm-kisüléshez hasonlóan a korona-kisülés is látható az emberi szem számára kedvező fényviszonyok mellett, mivel a kibocsájtott elektromágneses hullámok a kisülő elektróda körüli enyhén villódzó kék sávot képeznek [1]. Koronakisüléskor nagyszámú töltéshordozó vándorol az elektródák között, de a töltéshordozók teljes elvándorlása (átütés), és a feszültségnek, illetve az elektromos térnek a letörése elmarad [5]. Ebben az állapotban a porszemcséket az áramló töltéshordozók ionizálják, miszerint a korona megléte az elektrofilter működésének alapvető feltétele. A korona két zónából áll: az aktív zónából, amelyben az elektromos térerő elég nagy ahhoz, hogy az önálló kisülés létrejöjjön, és a passzív zónából, amelyben az úgynevezett elektromos tértöltési hatások dominálnak [6]. A tértöltési hatások nehezen uralható és számítható elektrosztatikus hatások, melyek akkor lépnek fel, ha nagyméretű töltéshordozók (pl. a feltöltött porszemek) az elektromos teret a saját töltésükkel befolyásolják. Az elektrofilter működése szempontjából ezek a tértöltések inkább hátrányosak, mivel a kisülő elektródákból indulva az elektromos mezőt leárnyékolják és ezáltal a leválasztást gátolják. Emiatt a töltéssel rendelkező porszemeket a lehető leggyorsabban el kell távolítani a korona zónájából. A korona aktív zónájában játszódnak le a legfontosabb ionizációs és töltés felszabadítási folyamatok.



3. ábra. **Drót – cső elrendezés korona szerkezetének sematikus ábrája**
Forrás: [1] alapján, 16. o.

A korona kisülés egy indító elektron felszabadításával és felgyorsításával indul. Amint azt leírjuk, az önálló kisülés állapotában a nagyenergiájú elektromos mező töltéshordozókat szabadít fel. A korona aktív zónáját a feszültség és a térerő képessé teszi arra, hogy a semleges molekulákból, így például a gáz molekulákból, vagy az elektródák felszínéről egyes elektronokat kiszakítson. Ezek a starter elektronok az elektromos tér hatására magas energia szintre jutnak, illetve erősen felgyorsulnak. Az erővonalak menti útjukon az ellentétes töltésű elektróda felé ezek a szabad töltéshordozók további gázmolekulákkal ütköznek. Ezen ütközésekkor a nagy energiájú szabad töltéshordozók további elektronokat szabadítanak ki. Ezek láncreakcióban ugyanígy ütköznek további gázmolekulákkal és további elektronokat szabadítanak fel. Így egy töltéslavina indul meg, amely a füstgázon keresztüli útja során a gáz csaknem összes alkotó elemét ionizálja [1].



4. ábra. **A korona kisülés sematikus ábrája**
Forrás: Saját leírás (IZES gGmbH)

Az ionizáció hatásossága és erőssége ismét az elektromos mező erősségétől és a potenciálisan rendelkezésre álló szabad töltéshordozóktól függ. Minél több elektron áll rendelkezésre az ionizációs lavina elindításához, annál hatásosabban tud az kialakulni (Townsend-féle ionizációs tényező) [4], [6]. Emiatt a korona oxigénben, annak erősebb elektro-negatív tulajdonsága miatt jobban és gyorsabban kialakul, mint például SF_6 gázban, amelyben a molekulák az elektronokkal való telítettséghez közeli állapotban vannak. Az ütközés után visszamaradó gázmolekulák maguk is rendelkeznek elektromos töltéssel, és a Coulomb-erő ezeket is gyorsítja. Ezáltal létrejön egyfajta elektronokból és ionokból álló töltéshordozó áramlás az erővonalak mentén.

Az U_0 feszültségnek az az értéke, amellyel a korona már elkezd kialakulni, korona kialakulási feszültségnek nevezik, és ez elsősorban a kisülő elektróda r_0 átmérőjétől, az E_0 elektromos térerőtől, továbbá a kisülő és a leválasztó elektróda közti távolságtól függ [1].

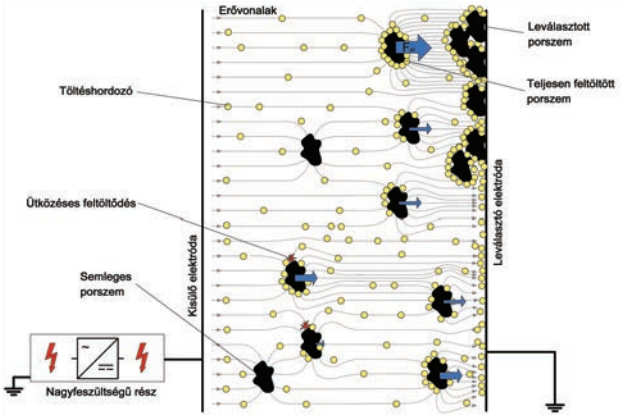
$$U_0 = r_0 \cdot E_0 \cdot \ln \frac{\pi \cdot r_0}{2 \cdot b} \qquad (3)$$

Itt a legfontosabb befolyásoló elektromos tényező az E_0 elektromos térerő, mint kiindulási térerő, melyet a kisülő elektróda közvetlen közelében lép fel [1]. A kiindulási térerő erősen függ a bekapcsolt feszültségtől, a környezeti viszonyoktól (pl. a gáz sűrűségétől), a kisülő elektróda átmérőjétől valamint annak topológiájától [1], [3]. Döntő szerepet játszik a kisülő elektróda formája és geometriája által megvalósult elektromos térerő eloszlás. Mivel a homogén mezőkben az elektromos térerő eloszlása egyenletes, a korona megjelenésével egyidőben átütés és egyben teljes kisülés következik be. Ebben az estben az átütési feszültség (amelynél az átütés bekövetkezik) megegyezik a korona képződési feszültséggel. Ha viszont a térerő és az erővonalak nem egyenletes eloszlásúak, úgy helyenként nagy térerők

ébredhetnek és ezek részleges kisülést (korona képződést) engednek meg anélkül, hogy az átütés bekövetkezne. Ezért a kisülő elektróda átmérőjének a lehető legkisebbnek kell lennie, vagy azt éles sarkú elemekkel kell részlegesen minimalizálni, hogy ezáltal az elektromos térerő nagysága és inhomogenitása a korona kisülést biztosíthassa. Ha az elektrofilterre kapcsolt feszültség és ezzel az elektromos térerő megfelelő, korona képezhető, ami porszemek feltöltéséhez szükséges ionizációs hatáshoz szükséges, és azt lehetővé teszi.

Részecskék feltöltése

A porszemcsék ionizációja, ami a leválasztásukhoz szükséges, sokféleképpen valósítható meg. Az elektrofilterben számos fizikai és kémiai folyamathoz hasonlóan sokféle ionizáló folyamat léphet fel, pl. természetes feltöltődés foto- vagy termoelektromos hatás által, indukció következtében, súrlódásos feltöltődés, vagy triboelektromos hatás miatt [7]. De ezek nem elégítik ki az elektrofilter működéséhez szükséges követelményeket. A porszemcséket elegendően magas töltési szintre kell hozni ahhoz, hogy azok leválaszthatókká váljanak, és a Coulomb-erők a röppályájukat kellő mértékben befolyásolhassák. Az elektrofilterben korona kisülés közben az ütközéses ionizáció és a diffúziós ionizáció a messzemenően domináns ionizációs hatás [1], [7]. A porszem ütközéses feltöltődését a már leírt koronakisüléssel egyszerűen magyarázhatjuk. A töltéshordozó lavina miatt meglévő szabad töltéshordozók nagy energiával és egyre növekvő gyorsulással mozognak az elektromos tér erővonalain az elektródák között.



5. ábra. **A villamos tértöltés általi részecskeionizálás sematikus képe (csöves elektrofilter 2D metszete) és az erővonalak kvalitatív változása**
Forrás: Saját leírás (IZES gGmbH)

Amikor egy semleges töltésű porszem a töltéshordozó áramlás zónájába érkezik, a gázionok azonnal elkezdenek a részecskére rakódni, illetve vele ütközni (ezért: tértöltés). Az ionok a részecskével ütközve a töltésüket túlnyomó részt leadják a részecskének [8]. Növekvő feltöltődöttséggel a feltöltött részecskék is megváltoztatják a környezetükben az elektromos teret. A semleges porszemek (az ábrán homogén erőtérben lévő vezető gömbök) nem változtatják meg az elektromos mező szimmetriáját és a potenciál eloszlást. Minél nagyobb a porszem töltése, annál több erővonal térül el az eredeti szimmetrikus lefutásától, és ez a tér-töltést a töltéshordozók további felütközése miatt erősíti. Ez a feltöltődés addig tart, míg a részecske telítetté válik.

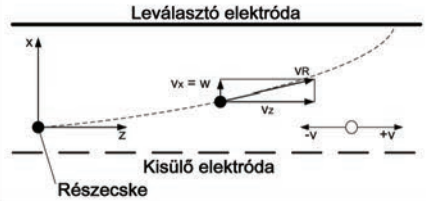
A diffúziós ionizációt a gázionok termikus önmozgása okozza. Minden gázmolekulának van természetes termikus mozgása, és ez nem függ a külső elektromos mező általi kinetikus gázgyorsítástól (gázmolekulák sztochasztikus hőmozgása) [8]. A füstgázban lévő és a koronakisüléskor rendelkezésre álló ionok a hőmozgás mellett, de attól függetlenül hatnak a porszemcsékre. Eközben az ionok a töltésüket ismételten leadják a porszemcséknek és így azokat feltöltik [8]. Az elektrofilterben a két ionizációs mechanizmus egyidejűleg működik, de jelentőségük a részecskemérettől függ. Az ütközéses feltöltés főleg a 0.5 µm-nél nagyobb részecskék estén jelentős [1], [3], [8]. A 0.2 µm-nél kisebb átmérőjű részecskék estén a diffúziós feltöltés játssza a jelentősebb szerepet [1], [8].

Ha a porszemcsék a korona zóna elhagyásakor ionizáltak és elektromosan polarizáltak, akkor az erővonalak mentén haladnak a passzív zónán át a leválasztó elektródához. Ezeket a vándorlási és transzport hatásokat a következő fejezet behatóbban magyarázza..

Részecske transzport és leválasztás

Részecske vándorlás és feltapadás

Az ionizált porszemcséket az ellentétes töltésű elektróda vonzza, és így olyaképpen gyorsulnak, hogy a korona passzív zónáján keresztül az erővonalak mentén a leválasztó elektródához jutnak.



6. ábra. **Részecske vándorlás a kisülő és leválasztó elektróda között**
Forrás: [3] alapján, 334. o.

A vándorló részecskék így elérik a leválasztó elektródát, és ezen a Coulomb erő hatására először megtapadnak és a megkötő erő (pl. Van der Waals erő) hatására megülnek [1]. A leválasztott részecskék a leválasztó elektródával érintkezve azon a por fajlagos ellenállásától függően nagyon gyorsan elveszítik a töltésüket. A porszemcsék töltéshordozói a leföldelt leválasztó elektródán keresztül, a külső áramkörön át visszajutnak a nagyfeszültségű hálózati részhez. A leválasztott részecskék egyre vastagodó réteget képeznek, ami egy bizonyos rétegvastagságot elérve a tértöltési hatáson és az ún. vissza-szikrázáson keresztül az elektrofilter működését károsan befolyásolja. Ugyanígy, a porréteg külső részén lévő szemcsék egy részét, amelyekre a leválasztó elektródától vett távolságuk miatt kisebb tapadó erő hat, továbbá a rájuk ható Coulomb-erő a kisülésükkor megszűnik, a gázáram magával ragadja, illetve felkavarja. Ezért a leválasztó elektródát periódikusan tisztítani kell, illetve az említett okok miatt ajánlatos letakarítani. Az elektrofilter építési módjától és az elektromos paraméterektől függően a kisülő elektródát is tisztítani kell. Az elektródák tisztítása főleg kis méretek esetén technikailag nehezen megvalósítható folyamat, mivel rendelkezésre álló hely szűkössége matt az építőelemek nagyon finom, mechanikailag nem nagyon terhelhető komponensek.

A leválasztási fok

Az elektrofilter hatásosságának megítélése alapvetően a leválasztási fokkal történik. A leválasztási fok a tisztított és a nyers gáz portartalmának aránya. A leválasztási fok ezzel az elektrofilterben lejátszódó fizikai folyamatok jóságának (korona képzés, ionizálás, részecskék leválasztása) értékszáma. Minél nagyobb ez a szám, annál jobban illenek egymáshoz a konstrukció és az elektrofiltert jellemző paraméterek. Walther Deutsch fizikusnak már 1922-ben sikerült a leválasztási fokot egy empírikus modell alapján matematikailag leírni („Deutsch-egyenlet”) [1], [8], [9].

$$\frac{1}{1-\eta} = e^{\left(\frac{w_k \cdot A}{Q}\right)^k} \qquad (4)$$

Az η leválasztási fok függ a porszem w_k vándorlási sebességétől, a Q gázáramtól és a leválasztó elektróda A felületének nagyságától. A k konstans empírikusan meghatározott szám, amellyel az elmélet gömbnek tekintett részecskére vonatkozó eredményét a valóságnak megfelelő, nem szabályos alakú porszemekhez igazítják [3]. Ezzel az elméleti vizsgálat a szűrő teljesítményének és munkájának csak első, durva becslésére használható, mivel számos tényezőt (pl. a részecskék tehetetlensége, azok légellenállása, tértöltési hatás, turbulensen fluktuáló áramlás, gravimetriai erők) elhanyagol. A gyakorlatban a por-mérésekkel meghatározott leválasztási fokot, amit a filterek gyártói a műszaki leírásokban gyakran a jóság fokmérőjeként adnak meg, ugyanígy óvatosan kell kezelni. Éppen a gyakorlatban használt tüzelőberendezések még tisztítandó gázának a portartalma ingadozik erősen, ugyanis ez erősen függ a felhasznált tüzelőanyag minőségétől. A laboratóriumokban meghatározott leválasztási fokot konstans bevitt portartalom mellett mérik, és ezután a leválasztási fok mindig egy konstans vonatkoztatási értékből határozható meg. Ha a gyakorlatban nem egyidejűleg történik a nyers és a tisztított gáz mérése, az időeltolódás és az erősen ingadozó porbevitel miatt a leválasztási fok meghatározását nagy bizonytalanság terheli. De még ha egyidejűleg is történik a nyers és a tisztított gáz mérése, és így közvetlen korreláció nyerhető, a leválasztási fok akkor sem egy, az elektrofiltert kielégítően jellemző érték. Ugyanis az ionizáció és ezzel együtt a porszemek leválasztása erősen függ az aktuális porkoncentrációtól. Növekvő porkoncentrációval a leválasztási fok is nő, mivel a többletként rendelkezésre álló töltéshordozó miatt az ionizálás hatásosabb lehet. Kis porkoncentráció esetén kevesebb töltéshordozó van az elektromos térben, emiatt az ionizálás vontatottabban történik, mint nagy porkoncentrációnál, és emiatt a leválasztási fok csökken. Az elektrofilter teljesítményének jellemzésére szolgáló leválasztási fok megadásakor a nyers gáz portartalmát mindig figyelembe kellene venni. Ezért néhány szűrőgyártó leválasztási teljesítmény hiszterézist is megad, amelynél az 50%-tól 99%-ig terjedő értéket elérik. Továbbá a gyakorlatban nem a magas leválasztási fok megadása a fontos, hanem a tiszta gáz elérhető porkoncentrációja. Ennek lehetőleg kisebbnek kell lennie a mindenkori szabványokban és szabályozásokban megadott határértékeknél.

Ezek az elméleti-matematikai összefüggések mindenesetre elegendőek az elektrofilter első magyarázatához. Az elektrofilter hatásossága tehát függ a gáz összetételétől (a nedves-ségtartalmától is), a gáz hőmérsékletétől és nyomásától, az elektródák méretétől és alakjától, az elektródák közti távolságtól, a rákapcsolt magas feszültség polaritásától, a nyers gáz portartalmától és a por szemcsenagyság szerinti eloszlásától [1], [3], [8]. A befolyásoló paraméterek és komponensek száma azt mutatja, hogy az elektrofilter üzemeltetése, de főleg a kialakítása a kutatással és a fejlesztéssel szemben magas tudományos és műszaki követelményeket támaszt.

Motiváció, célkitűzés és eljárás

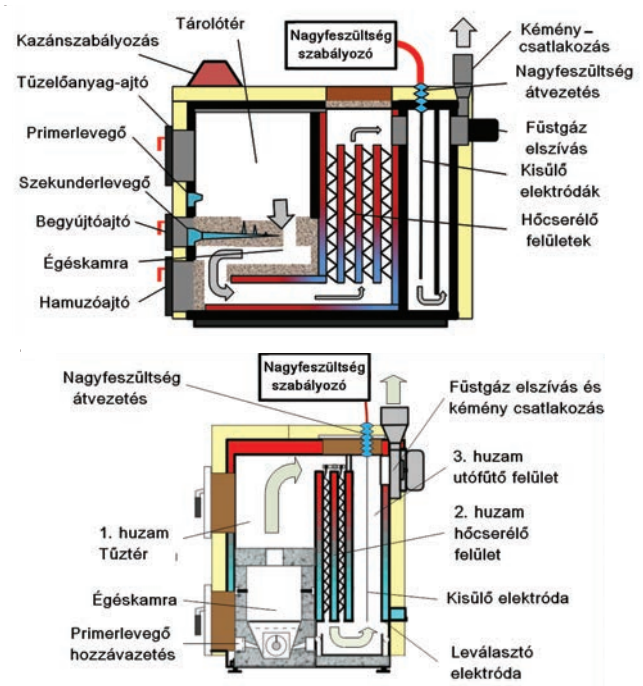
Motiváció

Az 1. BlmSchV törvény 2010. márciusi hatálybalépése Németországban egyben nagy kutatás-feljesztési igényt határozott meg. Ennek következtében számos kutatási és fejlesztési projekt indult meg az iparban, a gazdaságban és a kutatásban. A kiindulást egyrészt a tüzelőrendszerek tüzelési és emissziós tulajdonságainak javítása, másrészt olyan utánkapcsolt, vagy kombinált megoldások kifejlesztése jelentette, amelyek az elégetés után a füstgázt tisztítják. Az IZES ekkor már néhány éve foglalkozott az egyedi teremfűtések elektrosztatikus füstgáz tisztításával és a dohányzó helységek kimenő levegőjének tisztításával. A kutatási és fejlesztési elképzelést a biomassza tüzelésű kazánok elektrosztatikus füstgáztisztításának új fejlesztési területe által támasztott igényekhez igazítottuk. A projekt indítása előtt a fejlesztésbe kapcsolódó, a gazdaságból vagy az iparból jövő, és mind anyagilag, mint tudományosan hozzájáruló társak keresése éppolyan fontos volt, mint a technika jelenlegi állását meghaladó új szempontok meghatározása a terv megvalósításának céljából. A már sok éve a piacon lévő két kazángyártót (BIOKOMPAKT fűtéstechnika GmbH és HOVAL GmbH) megnyertük a projekthez, miáltal az elképzeléseket és azok tartalmát a két gyártó lehetőségeihez igazíthattuk. A jól meghatározott fejlesztési gondolatból adódott ki a feladat kitűzése, és ez meghatározta az egyes fejlesztési lépéseket és az eljárási mód keretfeltételeit.

Célkitűzés és feladatok

A kutatási projekt indításához mindenekelőtt részletezni és indokolni kell a célokat és azokat az eljárásokat, amelyek oda vezetnek. Végső célul egy piacérett, bio-tüzelőanyaggal működő központi fűtési kazán kifejlesztését tűztük ki. A porleválasztó rendszernek garantálnia kell a szigorított, 2015 januárjától érvényes, kis tüzelőberendezésekre vonatkozó, az 1. BlmSchV 2. fokozata szerinti por emissziós határértékek betartását. A feladat meghatározásában döntő fontosságú volt, hogy egy ilyen kisléptékű elektrofilter kifejlesztésében merőben el-térne a keret- és kifejlesztési feltételek nagyüzemiekre vonatkozóktól. Eltekintve az elektro-sztatikus porleválasztás fizikai elvétől, az elektrofilterek nagyüzemi területen alkalmazott egyetlen komponense sem vehető át, ezek csaknem mindegyike új fejlesztést kíván.

Műszaki szempontokra tekintettel a fejlesztés két partnerével (Biokompakt és HOVAL) való együttműködés keretében a biomassza tüzelésű központi fűtési kazánjaikhoz kellett elektrosztatikus porleválasztót kifejleszteni. Mindkét gyártó adott a projektbe kísérleti kazánt, amelyeken az elektrofilter fejlesztése gyakorlat-közeli körülmények



7. ábra. **A két integrált elektrosztatikus porleválasztó rendszerrel ellátott biomassza tüzelésű kazán egyszerűsített sémája [11], [12]**

között folyt. Egy 50 kW_{th} kézi táplálású AgroLyt 50 típusú, darabos fával fűtött kazánt (7. ábra alsó része) és egy 50 kW_{th} automatikus táplálású faforgáccsal fűtött Biokompakt ECO50 fűtött kazánt (7. ábra felső része) alkalmaztunk.

A projekt indításához olyan komplett rendszert terveztünk, amelyik a két kazán eltérő igényeit kielégíti, és amely egy leválasztó szakaszból (beleértve a szigetelést és az elektródákat), valamint ellátó és kontroll egységből áll. Az elektrofilter tulajdonságait, elsősorban a leválasztó szakasz kialakítását úgy kellett megválasztani, hogy az a biomassza tüzelésű kazánba integrálható legyen, vagy a kazán és a kémény közti additív megoldás lehessen. Mindenekelőtt a két kazángyártóval való szoros együttműködés által lehetett a gyakorlatból származó közvetlen visszajelzést nyerni azokra a követelményekre, amelyeket igényként lehetett a feladat megfogalmazásába foglalni. A magas költségeket elkerülendő és az egyszerű alkalmazhatóság érdekében lehetőleg egyszerű, de robusztus kialakítású szűrőrendszert kellett kialakítani. A gyakorlatban alkalmazott, igen erősen változó minőségű tüzelőanyagok is befolyásolják a biomassza tüzelések emisszziójának fajtáját és mértékét. Ezért a projekt további műszaki céljává tettük alternatív, részben nem fa alapú tüzelőanyagokra alkalmazható elektrofilter tervezését. Az elektrofilterek alkalmazási területét 100 kW_{th} névleges teljesítménnyel definiáltuk, számolva a moduláris felépítésű rendszer teljesítményének kiterjesztésével 800 kW_{th}-ig.

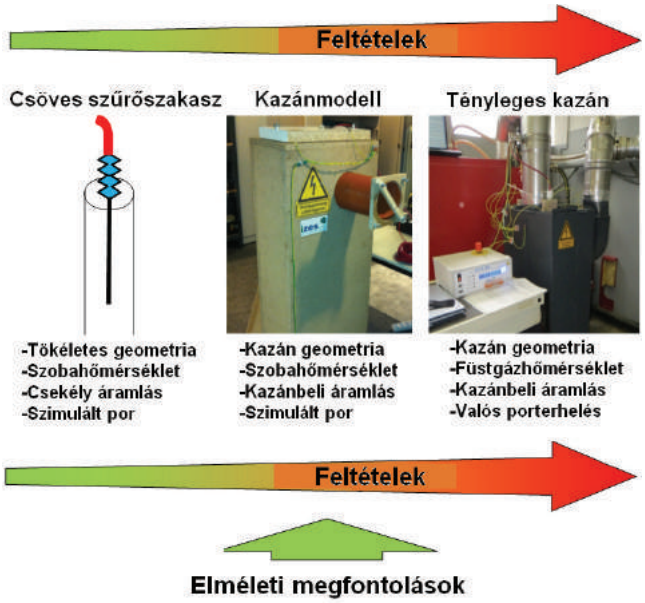
A legfontosabb gazdasási cél az volt, hogy a kifejlesztendő elektrofilter késztermékként elegendően olcsó legyen ahhoz, hogy a későbbi teljes rendszer (kazán és elektrofilter) ne kerüljön piaci hátrányba. Ebben az összefüggésben a gazdasági siker végülis azon múlik, hogy egy, az 1.BImSchV határértékeinek megfelelő biomassza tüzelésű kazánberendezés egész rendszerének a költsége a piacon meglévő hagyományos rendszerekkel versenyképes-e. Ebből a szempontból közömbös, hogy az előírt határértékek betartását hogyan érjük el, ugyanis a határértékek betartása és a belőle következő rendszerköltség dönti el a sikert. Tehát a projekt indulása előtt részletesen el kell készíteni a kívánt fejlesztés értékesítési tervét. Ebben az esetben a projekt végén először a benne résztvevő kazángyártónak kell a teljes mértékben integrálható és jól működő elektrofiltereket a piacra vinnie. Az értékesítési terv része az is, hogy a kazángyártók részt vegyenek az első kis sorozat tesztelésén, ami lehetővé teszi szükséges engedélyezést az építési és biztonsági szabályoknak, ajánlásoknak és előírásoknak megfelelően.

Mivel a fejlesztés kutatási projekt keretében történik, fontos a tudományos célok megadása. Nem csak a kifejlesztett rendszernek kell a projekt lezárása után tovább használhatónak lennie, hanem, a közben nyert tudományos ismereteknek, adatoknak és tapasztalatoknak is hozzá kell járulniuk a tudomány és a technika állásának a fejlesztéséhez. Ezért széleskörű monitorizálási programot építettünk ki és alkalmaztunk a folyamat elért sikereire. Fontos továbbá az elektrofilterben lejátszódó folyamatokra és azok összefüggéseire vonatkozó pontos és részletes ismeretek gyakorlati fejlesztése. Ezért a rendszer matematikai leírása (pl. az áramlás vagy az elektromos mező számológépes szimulációja) is célunk volt, hogy eredményeit figyelembe vehessük. A projekt tudományos végigkísérésének az volt a célja, hogy a nyert adatokkal és tapasztalatokkal közvetlen kapcsolatot teremtsünk az elmélettel, és ezáltal elsősorban a tapasztalaton alapuló teljeskörű kutatást és fejlesztést végezhessünk.

Az eljárás módja

Thomas Edison az izzólámpa sikeres kifejlesztés után az oda vezető kísérletekre vonatkozó kérdésekre azt válaszolta, hogy „nem mondtam csődöt, és már 10 000 olyan utat ismerek, amelyek nem eredményeznek izzólámpát. Ez az idézet elsősorban alkalmazott kutatásokra és fejlesztésekre vonatkozik. Ennek megfelelően olyan utat kell választani, amely több változatot és fejlesztési lépést enged meg elfogadható anyagi ráfordítással, másrészt a fejlesztést előrevitelében értékesíthető tudományos eredményeket ad. Az alkalmazott K+F iteratív megoldáskeresést jelent, amelynél a tervezésből, megépítésből, vizsgálatból és javításból álló kört mindaddig bejárják, míg végül a kívánt célt elérik.

Az ötlet, a motiváció és a feladatállítás leírása után a projekt indítása előtti utolsó lépést a célra vezető eljárás leírása jelenti. Az itt leírásra kerülő K+F projektre meghatározott tervet önálló munkacsomagokra bontottuk, és ezeket egymást követően feldolgoztuk. Az első csomag rakta le az elektrosztatikus porleválasztás gyakorlati kifejlesztésének az alapkövét a részletes elméleti vizsgálatokon keresztül. Az elméleti alapok lerakását követően elkezdtük az első elektrofilter komponensek megépítését. A közben kifejlesztett komponenseket három különböző vizsgálati fokozatban alaposan kiértékeltük, elemeztük és továbbfejlesztettük. Az egyes vizsgálati lépcsők az elektrofilter alkalmazására vonatkozóan beállított feltételekben különböztek. Ennek sémája a 8. ábrán látható. Az elektrofilter működésének lehetőleg egyszerű és optimális feltételeiből kiindulva az alkalmazás feltételeit egészen a kazánra vonatkozó tényleges feltételekig szigorítottuk.



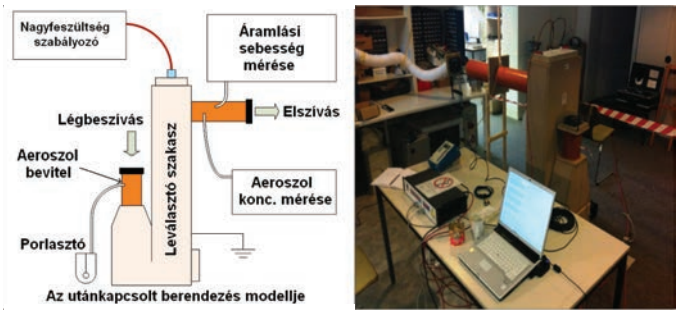
8. ábra. **Lépésenként szigorodó feltételek melletti előrehaladás**

A nagyfeszültségű ellátó és szabályozó rendszer egységének első kivitelén a csöves elektrofilterre vonatkozó csaknem tökéletes feltételek mellett indítottuk a gyakorlati vizsgálatokat. Ebben a teszt fokozatban tudatosan elhanyagoltuk a tényleges nehezítő körülményeket, pl. magas hőmérsékletet, egyenetlen geometria, magas szilárd anyag–por koncentráció. Ennek az első teszt fázisnak a célja az alapvető elektrofilter komponensek biztonságos működésének a megvalósítása volt. Miután az elektrofilterek, illetve az egyes komponensek kifogástalan működését bizonyítottuk, a teszt feltételeket szigorítottuk. A második fokozatban a kazánbeli körülményekhez lehetőleg hasonlókat kellett biztosítani anélkül, hogy az a fejlesztést túlságosan korlátozta volna. A kazán 1:1 léptékű modellje, amelybe az elekrofilter integrálását terveztük, a valós geometriát és az áramlási képet tökéletesen leképezte. A porterhelést ekkor is szimuláltuk. Ebben a teszt

fokozatban az alapvető működésüket tekintve már használható komponenseket tovább javítottuk mindaddig, míg lehetővé vált a tényleges teszt-kazánra vonatkozó valós körülmények közötti teszt. A valós kazánbeli körülmények melletti teszt-fokozatban – az előző fokozattal ellentétben – a porterhelés valós, a füstgáz hőmérséklet pedig magas. Ebben a teszt-fokozatban, mivel laboratóriumi feltételek mellett a valóságos és gyakorlati körülmények nem biztosíthatók, a mindeddig nem azonosított optimálási intézkedéseket és tovább-fejlesztéseket definiáltuk és végrehajtottuk. A laboratóriumban és a valós körülmények között végzett fejlesztési munkát a következő két fejezet részletesen ismerteti.

Laboratóriumi fejlesztés

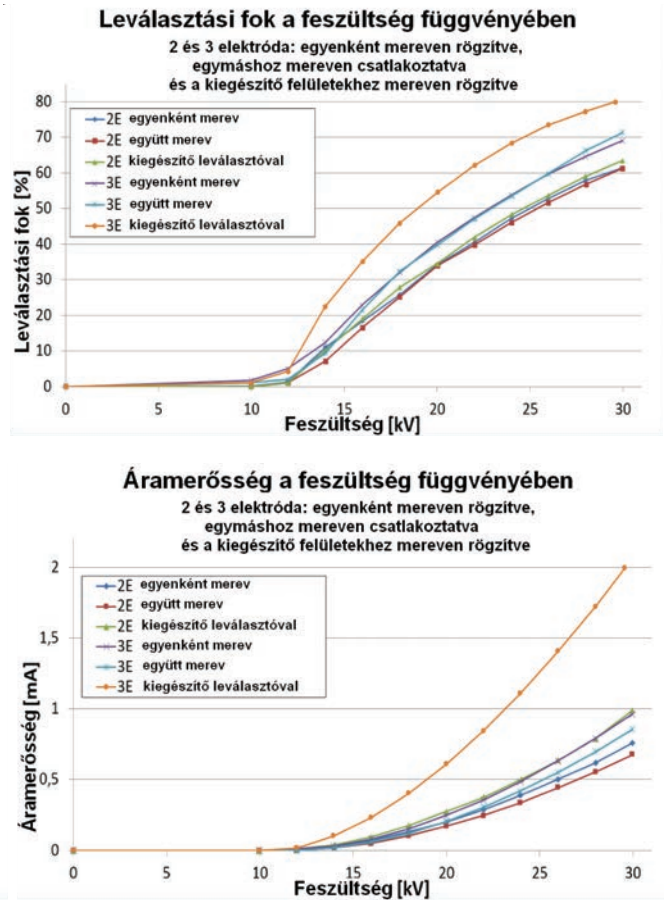
A fejlesztési tervnek megfelelően az elektrofilter fejlesztése laboratóriumban indult. A laboratóriumi teszt fő célja az volt, hogy a „nyers komponenseket" fokozatosan javítsuk, hogy a kazánba építhető és a gyakorlati körülmények között jól és biztosan működő elektrofilter komponenseket nyerjünk. Első helyen a szabályozható nagyfeszültségű táp- és szabályozóegységet vizsgáltuk azért, hogy a következő kísérletekhez a változtathatóan beállítható magas feszültséget biztosíthassuk. A sikeres üzembehelyezést követően az elektrofilter második, ugyanúgy fontos komponensét próbáltuk ki. A nagyfeszültségű elektróda kazán falazaton keresztüli átvezetésének szigetelését vizsgáltuk működőképesség szempontjából, valamint továbbfejlesztettük, míg végül igazolhattuk a tökéletes működését. Miután ezeket a komponenseket üzembiztossá tettük, elindulhattak az első laboratóriumi tesztek. A laboratóriumi munka összes teszt-eredményének reprodukálhatónak kell lennie. Ennek megfelelően a körülményeknek egyértelműen ismerteknek és mindenkor megismételhetőeknek kellett lenniük azért, hogy a tesztek eredményei összehasonlíthatók és kiértékelhetők legyenek. A laborkísérletek egyes lépéseit (kísérlet leírása, elvégzése, kiértékelése) mindegyik kísérlethez azonosnak kell előírni, és ennek betartását a kísérlet kezdetén ellenőrizni kell. A következőkben a laborkísérletek második fázisából mutatunk be példákat. Ehhez megadjuk az alkalmazott kísérleti körülményeket és módszereket. A gyakorlatba való átvitelt megelőzően a második teszt-fokozatban felépítettük a rendelkezésünkre álló két kísérleti kazán egyikének az 1:1 léptékű modelljét. A modell egy belül vezetőképes anyaggal bevont fa szerkezet volt. A 9. ábrán a laboratóriumi kísérleti berendezés sémája és fényképe látható.



9. ábra. **A laboratóriumi kísérleti berendezés sémája és fényképe**

A legnagyobb kihívást a modellbeli porterhelésnek és áramlásnak a kazánbeliekhez való igazítása jelentette. A normálisan hűtő- kenőanyagként használt „DEHS" (dieti-hexil-sebakát) szintetikus olaj porlasztásakor [13] ahhoz hasonló szemcse-, illetve cseppméret eloszlást, mint amilyen átlagosan a biomassza tüzelések finom poremissziójáé [14]. A kísérleti berendezéshez kialakított porlasztó fúvóka egységet úgy méreteztük, hogy a porlasztás során a megkívánt cseppméret eloszlást nyerjük. A kazánmodellben a légcirkulációt úgy modelleztük, hogy a porlasztott olaj ugyanolyan jellemzőkkel (sebesség, térfogatáram) áramoljon a kazánmodellben, mint amilyeneket a teszt-kazánon mértünk. A leválasztó szakasz utáni aeroszol koncentrációt optikai-fotometrikus műszerrel mértük. Figyelembe kell venni, hogy ez a módszer csak kvalitatív megítélésre alkalmas, mivel a készüléket az itt használttól eltérő aeroszolra (ISO 12103-1, A1 ultrafinom teszt por) konfigurálták. Trend meghatározására és az egyes szűrő komponensek kiértékelésére ez a kvalitatív módszer elégséges és célravezető. Mindegyik mérési sorozathoz meghatároztuk a vonatkoztatási értéket, amikor 15 percen át feszültségmentes állapotban (porleválasztás nélkül) teljes porbevitel mellett a részecske terhelést mértük. Az összes mérési sorozat 10 kV feszültségről indult, és a feszültséget 5 perces mérési időnként 2 kV-os lépésekkel növeltük. A kísérletek közben a porterhelést, feszültséget, áramot és áramlási sebességet 10 másodpercenként rögzítettük. Ezekből az adatokból az éppen tesztelt elektrofilter komponensek felülvizsgálatához szükséges értékek (pl. áram-feszültség kapcsolat, leválasztási fok) meghatározhatók.

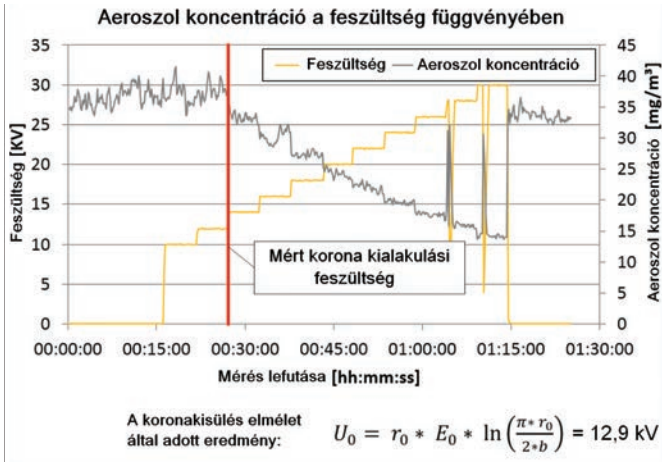
Ilyen változatlan feltételek mellett végül a különböző konfigurációk, felépítések, feszültség karakterisztikák, szabályozási algoritmusok, stb. tesztelhetők és összehasonlíthatók voltak. Az utolsó két évben összesen több, mint 250 tesztelést végeztünk, hogy a gyakorlatban megfelelő és jól működő elektrofiltert fejlesszünk ki. A 10. ábrán példaként a teszt sorozatok néhány eredménye látható.



10. ábra. **Különböző feszültség értékek és elektróda konfigurációk melletti leválasztási fok és U / I karakterisztika**

A 4. ábrán az elektrofilter emittáló elektróda komponensének különböző konfigurációira vonatkozó vizsgálati eredményei láthatók. Külön-

böző elektróda számot, rögzítéseket és anyagokat teszteltünk, hogy a kívánt célra, a kazánba való integrálásra a gyakorlatban lehetőleg megfelelő és hatásos kivitelt találjunk. Amint az várható volt, mind a feszültség, mind az elektródák számának növelésével a leválasztási fok nő. Ugyanígy, az elméletnek megfelelően változik az áram – feszültség karakterisztika a kazánban két, vagy három, eltérően rögzített elektróda esetén is. A diagramokat összevetve látható, hogy noha három elektróda és kiegészítő leválasztó felület biztosítja a legnagyobb leválasztási fokot, de ez igényli a legnagyobb villamos teljesítményt. Ha az elektrofilter – mint ennél az elrendezésnél – a teljesítőképességének a határán üzemel, kicsi játéktér marad pl. tényleges kazánban fellépő növelt füstgázmennyiség uralására. Ezért a valóságos teszt-kazánba építéshez a két elektródás és kiegészítő leválasztó felületes elrendezést választottuk, mivel itt ugyan enyhén alacsonyabb leválasztási fokot mértünk, mint három elektródás elrendezésnél, de ehhez fele akkora villamos teljesítmény igény tartozott. A laboratóriumi tesztek eredményeinek egy további példáját mutatja az 11. ábra.



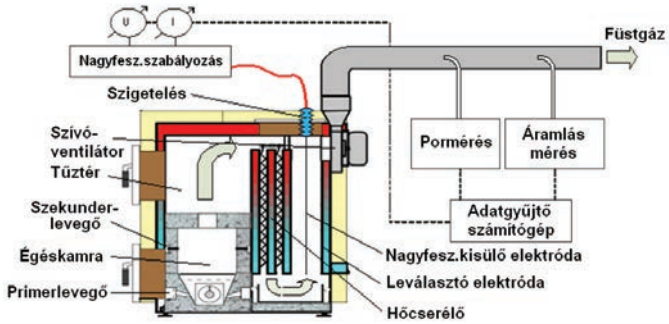
11. ábra. **A porkoncentráció és a feszültség lefutása egy laboratóriumi mérés során**

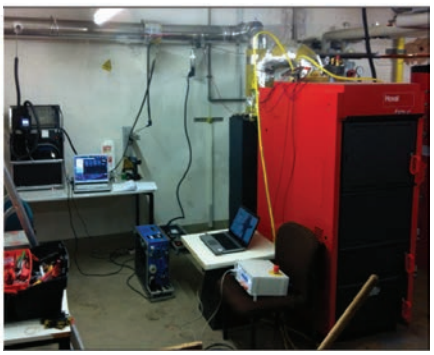
A teszt kezdetén az aeroszol koncentráció meglehetősen álladó szint körül ingadozik. De amikor a feszültség egy bizonyos szintet elér, a koncentráció csökkenni kezd, és a maximális feszültség értéknél a koncentráció minimális értékre csökken. Feszültség letörések is láthatók, amelyek az elektrofilter működése közben fellépő zavaró befolyások, por rétegek, vagy füstgáz-lökések következtében ismételten bekövetkeznek. A nagyfeszültségű és ellenőrző egység ezeket az átütéseket felismeri, a feszültséget leszabályozza, majd bizonyos várakozási idő után azt újra közvetlenül az előre beállított értékre növeli. Így teljes és értékelhető labor kísérletet végeztünk. A leválasztó a mért aeroszol koncentráció növekedésével reagál a feszültség letörésére. A feszültség lekapcsolása után a por koncentráció a kiindulási értékre áll vissza. Amint már leírtuk, a projekt célja az volt, hogy a gyakorlatban megvalósított fejlesztést azt kísérő elmélettel lássuk el. Az ún. korona kialakulási feszültség az a feszültség, amelynél a por leválasztása megindul, illetve amelytől a meghatározott geometriájú elektrofilter működni kezd. Esetünkben a koronaképződési feszültség képletét a kazán laboratóriumi modelljére alkalmaztuk, és azt laboratóriumi teszttel igazoltuk. A diagramon ez kb. 13 000 V-nál látható. Ennél a feszültségnél a geometria és a kazánmodell által meghatározott mértékben megindult a porlasztott olaj leválasztása. A bemutatott eredmények csupán kiragadott példák a projekt során végzett laboratóriumi munkából. Ez a kis metszet világossá teszi a gyakorlatba átültetett fejlesztésekhez szükséges laboratóriumi tesztek fontosságát. Noha világos különbség van a laboratórium és a gyakorlat között, a sikeres labor-munka adja az első támpontokat, és a nyert tapasztalatok megkönnyítik a fejlesztések gyakorlatba ültetését.

Az itt bemutatott és különösen a laboratóriumban elért K+F eredményeket a „Bio-E-Hoover" kutatási projekt (FKZ:D/2 – 14.2.1.1 – LFFP 10/43) keretében értük el. A projektet a Saarland-i állami kancellária vezette tartományi kutatási és fejlesztési program finanszírozta. A projekt 2011 januárjában indult és hároméves futamidővel 2013 decemberében fejeződött be.

Valós körülményekre történő fejlesztés

Ezeket a kísérleteket a projekt keretében tervezett új fejlesztés értékelése valamint az optimálási és tökéletesítési potenciál azonosítása érdekében végeztük. Teszt-berendezésnek négy biomassza tüzelésű kazánt használtunk. Két kazánt az IZES gGmbH, egy-egy kazánt a projektben résztvevő, biomassza tüzelésű kazánt előállító vállalatok működtettek. Ehhez egy, az IZES telephelyén lévő, kézi adagolású, 50 kW_{th} teljesítményű tüzelőfa fűtésű kazánt, egy több lakásos ház fűtésének mintadarabját jelentő automatikus adagolású, 50 kW_{th} teljesítményű fa apríték tüzelésű kazánt használtunk. A HOVAL-cég a teszteléshez egy 25 kW_{th} teljesítményű kézi adagolású tűzifával fűtött, kézi adagolású kazánt, a BIOKOMPAKT egy automatikus adagolású, 50 kW_{th} teljesítményű fa apríték tüzelésű kazánt használt. Az installált kazánok több dologban különböztek egymástól, pl. a tüzelő-anyag betáplálásában, az alkalmazott tüzelőanyag fajtájában, vagy a névleges teljesítményükben. Tüzelőanyagként kereskedelmi tüzelőfát és szabvány szerinti fa aprítékot és igencsak különböző minőségű alternatív biomassza tüzelőanyagokat használtunk. Így például fű/lágyszárú növény pelletet, törköly / miscantus brikettet, vagy gyapot brikettet használtunk tüzelőanyagként. Ezek ugyanolyan tüzelési mód, illetve tűztér geometria esetében általában magasabb emissziót okoznak, mint a normális tüzelőanyagok. Így a porleválasztó alternatív tüzelőanyagok melletti alkalmazhatósága is vizsgálhattuk. A 12. ábrán a valóságos körülmények közötti kísérleti berendezés látható.



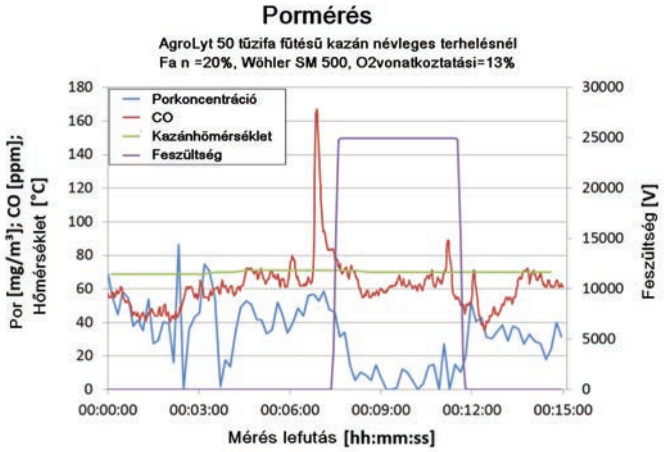


12. ábra. **A kazánlabor sémája és fényképe**

Itt példaként az IZES gGmbH telephelyén installált 50 kWth teljesítményű tűzifa-fűtésű kazán látható. Az üzemi kísérleteket alapvetően a „kazán és tüzelés", „szűrőbox és porleválasztás" és „füstgáz berendezés" elnevezésű részterületekre bontottuk. A leválasztó egység után a porterhelést és az áramlási sebességet (a térfogatáram meghatározás céljából) mértük. A porterhelés mérése különböző, a piacon lévő és az 1. BImSchV szerinti méréshez engedélyezett (vizsgálva a VDI 4206 2. lap szerint) pormérő készülékeket használtunk, továbbá a laborkísérletekből ismert TSI Dust Trak 8530 készüléket (amivel megintcsak csupán kvalitatív mérés lehetséges). Az 1. BImSchV szerinti mérésekhez engedélyezett készülékek beható vizsgálata és értékelése után a kifejlesztett elektrosztatikus porleválasztónál főleg a Wöhler SM 500-as mérőműszert használtuk a valóságos körülmények közötti mérésekre. Ezen kívül alkalmaztuk a Testo 380-as és az Afriso STM 225 készüléket is.

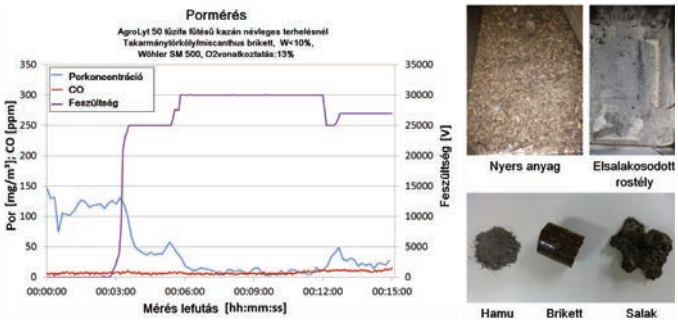
A projekt célját három különböző kialakítású elektrofilter megvalósításaként írtuk le: utánkapcsolt megoldás a kéménycsőben, közvetlenül a kazánba integrált kivitel, integrálható toldalékkénti darab. Az utánkapcsolt, kéménycsőbe épített volt az első megvalósított, kipróbált és üzemeltetett megoldás. Ezt követte a közvetlenül a kazánba integrált kialakítás. Mivel ezt a megoldást a kazánban rendelkezésre álló hely szűkössége miatt csak a Biokompakt ECO 50 kazánnál alkalmazhattuk, a második teszt-kazántípushoz (AgroLyt) a kazánnal megbonthatatlanul összeépíthető szűrődobozt fejlesztettünk ki. A szűrődoboz tartalmazza a leválasztó szakaszt, amelyet a nagyfeszültségű ellenőrző egység (EFC) táplál. A szűrődoboz lényegében a következő elemekből áll: füstgáz bevezetés, kisülő elektróda, leválasztó elektróda és füstgáz elszívás. A 6. ábrán látható elrendezés szerint a szűrődoboz eljárástechnikai szempontból a füstgáz elvezetésben helyezkedik el a szívóventilátor után, miáltal a doboz a kazán szilárd elemévé vált. A projekt keretében a Biokompakt ECO 50 direkt integrált kivitele mellett a Hoval AgroLyl 50 kazánok többségében a filterboxot alkalmaztuk, mivel ez a kéményes megoldáshoz képest anyag- és költségtakarékosabb. A filterbox-szal, ami tokozott hozzáadható modulként a kazán része, szintén integrált rendszert nyerünk. Ez az utánkapcsolt kéményes megoldással ellentétben a kazángyártók számára érdekes koncepciót jelent. A filterboxot végső kiépítésében közvetlenül a kazán karimájára helyezzük és azzal megbonthatatlanul összekötjük. Az átömlések csatlakozásait megfelelően illesztjük és a teljes rendszerből kivezetjük.

A 6. ábrán bemutatott teszt standon a szűrőn az 1. BImSchV által engedélyezett „Wöhler SM 500" készülékkel több por-mérést végeztünk. A 13. ábrán egy hasábfával végzett üzemi kísérlet eredményei láthatók.



13. ábra. **Be- és kikapcsolt filterrel történt fatüzeléssel végzett kísérlet lefutása**

A tüzelőanyag szokásos hasábfa volt 20% nedvességtartalommal. A teszt fázis közben tüzelőanyag utántöltés nem volt, és a kazán-tüzelés nagy hőteljesítménnyel futott. Az IZES székházában lévő teszt állomáson a Hoval AgroLyt 50 kWth tűzifa-fűtésű kazánon végzett por-méréskor a filtert be- és kikapcsolgattuk. Látható, hogy bekapcsolt szűrőrendszer mellett az 1. BImSchV 2. fokozata szerinti határértékeket betartottuk. Az eredmények így az elektro-sztatikus leválasztó rendszer megfelelő működését mutatják. A 14. ábrán egy takarmány-törköllyel/miscanthus-brikettel végzett üzemi teszt eredményei láthatók. Itt is mértük a por-tartalmat a teljesítmény-tüzelés alatt és az utántöltések között. Az elektrofiltert változó feszültséggel üzemeltettük, hogy a beállított feszültségnek a portartalomra gyakorolt hatását megfigyelhessük. Látható, hogy kikapcsolt elektrofilter mellett a nyers gáz portartalma átlagosan 125 mg/m^3 volt; 25 kV beállított feszültség mellett 40 – 50 mg/m^3 értéket értünk el. A maximálisan beállítható 30 kV mellett az 1. BImSchV 2. fokozata szerinti 20 mg/m^3 határérték betartható. Itt a leválasztási fok a feszültségtől és a porterheléstől függően kb. 95 és 75% között változott. De nem csak a magas leválasztási fok pontos, hanem a határérték betartása a rendelkezésre álló elektrofilter teljesítményekkel, amit ezzel az inkább problematikus tüzelőanyaggal is el tudtunk érni.

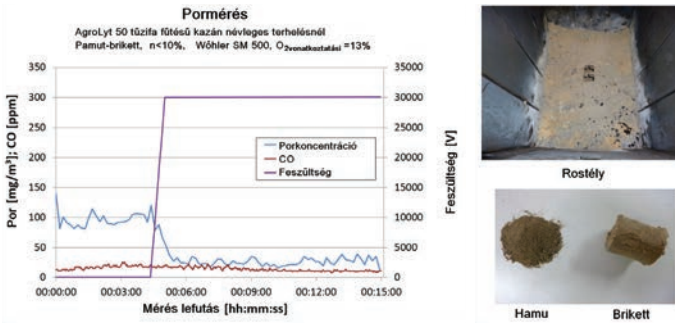


14. ábra. **Üzemi teszt, törköly/miscanthus brikett, be- és kikapcsolt időszakok, szabályozott feszültség lefutás**

Takarmánytörköly/miscanthus brikett tüzelés esetén nem csak az elektrofilter működő-képességét kell megvizsgálni, hanem a kazánnak is alkalmasnak kell lennie az alternatív tüzelőanya elégetésére. Az egynapos üzemi teszt során többször mértük a portartalmat és az elektrofilter működését. Az egynapos teszt vége felé a kazán működés romlását, mindenekelőtt a levegő cirkuláció egész rendszeren belüli leromlását figyeltük meg. A teszt-nap végén megvizsgáltuk a kazánt és a benne maradt brikett-származék maradványokat. Megállapítottuk, hogy az alternatív tüzelőanyag ugyan viszonylag tökéletesen elégett, de azt is, hogy az összeállított tüzelőanyag hamuolvadáspontját túlléptük. A következmény a rostély salakosodása és csaknem teljes eltömődése volt. A por kibocsátást az elektrofilterrel a szükséges mértékben lecsökkentettük ugyan, de a salak képződése miatt ez a tüzelőanyag nem vagy csak feltételesen alkalmas az alkalmazott kazánban való tüzelésre.

A 15. ábrán a gyapot-brikett tüzelés üzemi tesztjének eredménye látható. Ez a brikett textilipari maradékokból készült. Ez az alternatív tüzelőanyag is eredményezett 140 mg/m^3 füstgáz portartalmat. Bekapcsolt és maximális teljesítménnyel működtetett elektrofilter mellett a tisztított gázban 20 – 40 mg/m^3 portartalmat tudtunk elérni. Ezzel az 1. BImSchV 2. fokozata szerinti határértékeket részben elértük. A kazánban maradt maradékanyagot újból megvizsgálva

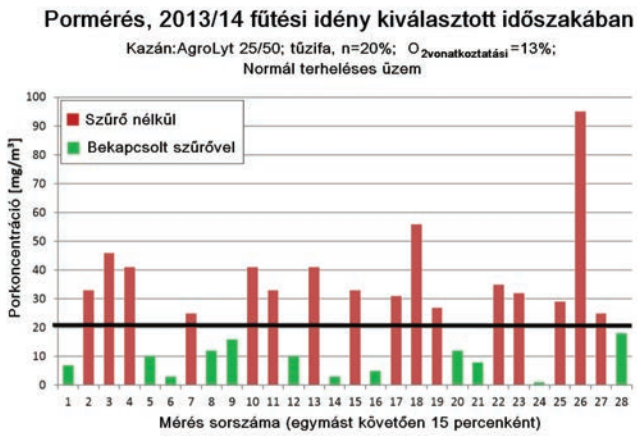
arra az eredményre jutottunk, hogy a különböző tüzelőanyagokból különböző finom porok származnak. A takarmánytörköly/miscanthus égetéskor keletkező, részben ásványi, részben elégetlen anyagokból álló porok viszonylag nagyszemcséjűek, és így nagy részük a kazán szállóhamu gyűjtő ládájában leülepedik. Ezzel ellentétben a gyapot égetéskor keletkező csaknem kizárólag ásványi anyagokból álló por és hamu lényegesen finomabb szemcséjű, és ezért a rostély eltömődését nem a keletkező salak, hanem a nagymennyiségű agglomerált por okozza.



15. ábra. **Üzemi teszt, gyapot-brikett, be- és kikapcsolt időszakok, szabályozatlan feszültség lefutás**

Végeredmény

Az alternatív tüzelőanyagokkal végzett üzemi kísérletekből szerzett tapasztalatok és eredmények abban foglalhatók össze, hogy az alternatív tüzelőanyagoknak, de főleg a fűféléknek a kis teljesítményű kazánokban (<100 kW) történő elégetése problematikus. Az ebbe a teljesítmény tartományba eső, kereskedelmi forgalomban lévő kazánrendszerek általában nem rendelkeznek olyan megfelelő primer eszközökkel és szabályozó készülékekkel, amelyek segítségével ezeknek az alternatív tüzelőanyagoknak az elégetése nem befolyásolná a kazán működését. Szekunder tartozékok (pl. elektrofilter) ugyan lehetővé tehetik a kilépő füstgáz finom por tartalmára vonatkozó határérték betartását, de a 20 mg/m^3-nél kisebb érték biztonságos betartását és főleg a teljes rendszer (pl. a tüzelés) zavartalan működését csak primer és szekunder intézkedések együttesével lehet biztosítani. Elsősorban az alternatív tüzelőanyagok elégetésekor keletkező nagy pormennyiség miatt (amit a fűfélék nagy hamutartalmából következik) további sikeres fejlesztések szükségesek a szűrőrendszerek automatikus tisztításához. Ez megintcsak nehéz lesz a kis teljesítményű kazánok esetén, mivel itt a műszaki ráfordítást



16. ábra. **Ki- és bekapcsolt filterrel történt pormérés eredményei**

és a velejáró hasznot a költségekkel kell szembeállítani. De ahhoz, hogy az alternatív tüzelőanyagokat és a kis teljesítményű biomassza tüzelésű kazánokat az 1. BImSchV 2. fokozatának hatályba lépése után is korlátozás nélkül használhassák, hatásos és költségtakarékos szekunder kiegészítésekre van szükség. Azért, hogy a biomasszát hasznosító kazánok klímavédelmi célok miatt szükséges elterjedését ne veszélyeztessük, a szekunder tartozékokkal kiegészített kazánoknak megfizethetőknek és a többi hőfejlesztési technológiákkal szemben versenyképeseknek kell lenniük. Végül a 16. ábrán az üzemi teszt néhány eredményét mutatjuk meg. A projektben kifejlesztett elektrofilter ugyan még csak a prototípus előszéria állapotában van, a prototípussal eddig elért eredmények egyértelműen feljogosítanak az elektrofilternek a piac- és szériaérett állapotra való továbbfejlesztésére. Az IZES a rendszer továbbfejlesztését és optimálását tervezi.

Az itt bemutatott K+F gyakorlati eredményeit az „OPTIDUST" (FKZ:22000711; 11NR007) kutatási projekt keretében értük el. A projektet a Szövetségi Élelmezési és Földművelési Minisztérium finanszírozta és a Megújuló Nyersanyagok Szakügynökség felügyelte. A projekt 2011szeptemberében indult, és 3 éves futamidő után 2014 augusztusában fejeződött be. A munkát a biomassza tüzelésű kazánokat gyártó, nemzetközileg ismert BIOKOMPAKT és HOVAL cégekkel szoros együttműködésben végeztük.

Irodalom

[1] H. White, Entstaubung industrieller Gase mit Elektrofiltern, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1969.
[2] A. Küchler, Hochspannungstechnik, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2009.
[3] E. Weber und W. Brocke, Apparate und Verfahren der industriellen Gasreinigung, München: R.Oldenbourg Verlag, 1973.
[4] J. S. Townsend, Electricity in Gases, Oxford: Clarendon Press, 1915.
[5] M. Goldmann, A. Goldmann, R. S. Sigmond, „The corona discharge, its properties and specific use", Pure &Applied Chemics, pp. 1353-1362, 1985.
[6] I. Gallimberti, „Recent advancements in the physical modelling of electrostatic precipitators", Journal of Electrostatics, Vol. 43, pp. 219-247, 1998.
[7] E.Kelly, D. Spottiswood, „The theory of electrostatic separations: A review part II. Particle charging", Minerals Engineering, Vol. 2, No.2, pp. 193-205, 1989.
[8] H. H. Petersen, „Performance of electrostatic precipitators", Waste Management & Research, Vol 4. pp. 23-33, 1986.
[9] W. Deutsch, „Bewegung und Ladung der Elektrizitätsträger im Zylinderkondensator", Annalen der Physik, Vol. 373, No. 12, pp. 335-344, 1922.
[11] Hoval GmbH: „Stückholz Heizkessel AgroLyt 20-50" (Aschenheim-Dornbach, 2011).
[12] Geändert von: BIOKOMPAKT Heiztechnik GbmH: Dokument: „Biomasseheizung Type AWK / ECO mit Brennstoffförderung „Mini, Standard, Industrie" für Hackgut bis 60 mm Länge und sonstige körnige Biomasse", (Waldhausen, 2010)
[13] Topas GmbH: Auszug aus dem Sicherheitsdatenblatt DEHS, (2008)
[14] I. Obernberger, T Brunner, G. Bärnthaler: „Aktuelle Erkenntnisse im Bereich der Feinstaubemission bei Pelletsfeuerungen", (Stuttgart, 2005)

Depóniagáz termelés technológiája a hódmezővásárhelyi hulladéklerakó telepen

Molnár Tamás Géza
molnart@mk.u-szeged.hu

Magyarországon, illetve világviszonylatban is a hulladékok mennyisége emelkedő tendenciát mutat, a hulladékok környezetkárosító hatásának csökkentése mindenki számára elengedhetetlen feladat. Több alternatíva áll rendelkezésre ezek közül az egyik: azok a hulladékok amelyek már lerakásra kerültek hulladéklerakó telepekre, gondoskodnunk kell a bomlások során keletkezett gázok megfelelő kezeléséről, illetve a hulladéktesten átszivárgott csurgalékvíz kezeléséről. Ezek alapján megállapítható, hogy a kommunális hulladékok növekvő tömege depóniagáz forrásként szolgálhat. A hulladéklerakó telepeknek rendelkezniük kell depóniagáz elvezető rendszerekkel ahhoz, hogy a környezetvédelmi előírásoknak megfeleljenek, amenynyiben a feltételek adottak, akkor a depóniagáz hasznosítását is meg kell oldani. A települési hulladékok bomlásából keletkező depóniagáz problémakörével azóta foglalkoznak behatóan, mióta kimutatható, hogy Földünkön a természetes és antropogén metán, szén-dioxid kibocsátás hozzájárul, az un. üvegházhatás jelenség kialakulásához [Farkas, 2011]. A téma aktualitásának és jelentőségének szempontjai közül az egyik, hogy a képződött hulladék korszerű és az Európai Unió előírásainak megfelelő technológia rendszerek alkalmazásával energetikailag hasznosítható és a fosszilis energiát kiváltó alternatív energiaforrást tudunk használni villamos és hőenergia termelés céljára, ami gazdasági és környezetvédelmi előnyökkel jár. A másik szempont a környezetünk védelme céljából olyan intézkedéseket és technológiákat kell alkalmazni, ami szem előtt tartja a környezeti problémák minimalizálását.

*

In the recent years in Hungary the continuous increase of solid waste, as a result of private consumption, has become a serious issue. In Hungary currently about 23 million m3 solid urban waste is formed annually. Waste management plays a key role in the quality of environment, protecting natural resources and developing environmental security. There can be two basic environmentally harmful effects of waste disposal. One of them is leachate, which percolates through the deposited waste and pollutes ground water, the other is the landfill gas from decomposed organic materials. Landfill sites should have deponia gas discharge duct system in order to comply with the environmental standards. As long as the conditions are established, landfill gas utilization should be worked out. The problem of landfill gas from the decomposition of communal waste got into the focus of attention since it was proved that on the Earth the natural and anthropogenic methane and the carbon dioxide emission contribute to the so-called glass-house effect. [Farkas, 2011]. The current relevance and significance of the topic is that by the use of modern, state-of-the-art techniques in accordance with EU standards, we could use alternative forms of energy instead of fossil energy sources for both electric and thermal energy production which has both economic and environmental benefits.

* * *

Az elmúlt évtizedek műszaki, gazdasági fejlődése, és az urbanizáció következtében rendkívüli mértékben megnőtt a hulladékok mennyisége. A mai kor környezetgazdálkodási tevékenységének egyik legfontosabb elemeinek tekintendő [Ryding, 1994]. A hulladékok környezetkárosítása hatás mellett megnőtt a szerepe a természeti erőforrásokkal való észszerű gazdálkodásnak. Olyan eljárásoknak van létjogosultsága melyek a nyersanyag készleteket és az energiafelhasználást is figyelembe veszik. Az anyag- és energiatakarékos helyi gazdaságok kialakítása rendkívül fontos tevékenység, ami jelentős kihívást jelent a hulladékgazdálkodás számára [Árvai, 1993]. A természeti erőforrások megőrzése és a környezetszennyezés elkerülése a két alappillére a hulladékgazdálkodás környezetvédelmi problémáinak [McDougall et al., 2001]. Ezáltal a hulladékok keletkezésének, mennyiségének és veszélyességének a csökkentése, illetve a természeti erőforrások felhasználásának csökkentése alapvető feladatunk. A hulladékok újrahasznosításával és feldolgozásával és másodnyersanyagként történő felhasználásával egy adott gazdaság hatékonysága növelhető, valamint így a hulladékok visszakerülését a természetbe megakadályozza [Epa, 1988].

A depóniagáz termelés szempontjából fontos vizsgálni a beszállításra kerülő települési szilárd hulladék szerves anyag tartalmának helyzetét, és várható alakulását. Az EU hulladéklerakókról szóló 1999/31 EK tanácsi irányelv megalkotásával a hulladéklerakók tehermentesítését, így a hulladékhasznosítást helyezte előtérbe. Az irányelv egyik kulcseleme a települési szilárd hulladék biológiailag bontható frakciójának eltérítése a lerakóktól. Az irányelv kimondja, hogy a hulladéklerakóban ártalmatlanítható települési szilárd hulladék biológiailag lebomló részarányát, mennyiségét folyamatosan csökkenteni kell, illetve meg kell szüntetni. Ezáltal a lerakók terhelését tudjuk csökkenteni, illetve az élettartamát tudjuk növelni. A biológiailag lebomló hányad kezelésére komposztáló, biogáz-előállító és felhasználó, illetve bioenergia hasznosító létesítményeket kell kialakítani, ahol az élelmiszeripari hulladék kezelését meg kell tudni oldani.

A hulladéklerakókba lerakott hulladék mennyiségétől, minőségétől (szerves anyag tartalmától), a lerakás módjától, technológiájától illetve a lebomláshoz szükséges környezeti viszonyok megléte mellett depóniagáz képződik. A depóniagáz gyűjtésével és ellenőrzött körülmények között zárt rendszerben való kitermelésével csökkenhetők a gázkitörések a hulladéklerakókból (tűz és robbanásveszélyes). A depóniagáz összetételét tekintve metán - ami energetikailag hasznosítható - és a szén-dioxid (inert gáz) keletkezik legnagyobb térfogatszázalékban. A hulladéklerakó telepi depóniagáz kinyerési eljárások lehetnek passzív és aktív gázellenőrző és mentesítő rendszerek.

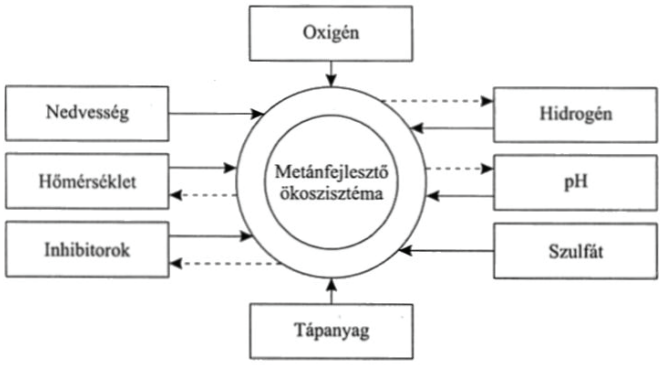
Anyag és módszer

Magyarországon jelenleg mintegy 23 millió m^3 (4,6 millió tonna) települési szilárd hulladék keletkezik, mennyisége a gazdaság fejlődésével évente 2-3%-kal emelkedik [Bai 2005]. Jelenleg a közszolgáltatás keretében begyűjtött települési szilárd hulladéknak csupán 5%-át hasznosítják, az ártalmatlanítás jellemző formája a lerakás (80%) [Barótfi 2000]. A magyarországi hulladéklerakó helyzet elemzésekor külön kell választani az 1990. előtti és utáni állapotot. 1990

előtt teljes szabályozatlanság, alacsony műszaki színvonal és a magántőke bevonásának a hiánya volt jellemző. A lerakók kialakítására, műszaki védelmi rendszerére nem voltak jogszabályok, előírások, műszaki irányelvek [Kajner, 2000]. A korában épült lerakók, felhagyott gödröket, bányatérségeket jelentettek, ahol a természetes védelmet biztosító anyagrétegeket már eltávolították [Déri et. al 2002]. 1990 után az országban céltámogatás (KKA, majd KAC támogatás) és PHARE, ISPA támogatásokból nyert források és szakmai befektetők finanszírozásával több, mint 40 lerakó épült, amelyek az Európai Uniós irányelveknek és nemzetközi elvárásoknak megfelelnek. 1997-ben 12 lerakó kapott támogatást, az átlagosan ellátott lakosok száma 34 ezer fő, míg 1999-ben támogatott 4 db térségi lerakónál az ellátott lakosság száma 56 ezerre nőtt [Nagy-Rákosi, 1999]. A hulladékgazdálkodás legnagyobb emissziós tevékenysége a biológiai bomlásból származó depóniagáz [Molnár 2006]. Mivel a légkörbe kerülve hozzájárul az üvegházhatás jelenségéhez és 24-szer veszélyesebb a környezetre, mint a szén-dioxid, ezenkívül kellemetlen szagot áraszt, és robbanóképes gázelegyet képez [Fuchs et.al 2010]. A hulladéklerakó telepen megtalálható szigetelési technológiákon kívül jelentős szerepe van ezért az alkalmazott depóniagáz kinyerési rendszereknek [Molnár et al. 2007]. Hazánk depóniagáz kibocsátása 13MtCO_2eq/év, ami az összes üvegházhatású gáz-kibocsátásnak (65MtCO_2eq/év) 20 százaléka, tehát jelentős mennyiségek kezeléséről kell gondoskodnunk [Hajdú 2009]. A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet (5.1. bekezdés) kimondja, hogy „gondoskodni kell a keletkező hulladéklerakó-gázok rendszeres eltávolításáról, gyűjtéséről és kezeléséről, a B3 kategóriájú hulladéklerakón a biológiailag bomló összetevőkből képződő gázok kezelésére minden esetben ki kell alakítani a gázkezelő és hasznosító rendszert" [20/2006. (IV.5.)].

Eredmények

A depóniagáz termelődését és a metánképződést befolyásolják a lebomlási folyamatokban részt vevő mikroorganizmusok élettani feltételei és fő abiotikus tényezői (1. ábra). Melyek [Bánhegyi, 1993] szerint a következőek: tápanyagtartalom, hőmérséklet, nedvességtartalom, kémhatás, oxigén. Ezek alapján kijelenthető, hogy az anaerob biodegradációhoz kedvező feltételeket kell biztosítani. A mikroszervezetek számára az életfunkciók fenntartáshoz tápanyagra van szükségük, ami a sejt tevékenységükhöz szükséges energiatartalmat tudja biztosítani [Zehnder, 1988]. A tápanyag biztosítására a hulladékok szerves anyag tartalma gondoskodik, ilyenek lehetnek: növényi anyag vagy állati eredetű trágyafélék, élelmiszeripari melléktermékek és kommunális hulladékok, kommunális szennyvizek. A tápanyagok tekintetében kiemelt paraméterként említeném a szén-nitrogén arányát, mivel sejtfehérjék felépítéséhez nitrogénre van szükség, a legkedvezőbb arány a C/N = 3:1. A kedvező arány betartására szükség van, mivel vagy nem tudja feldolgozni a szénmennyiséget, vagy az ammónia mennyiségének emelkedését okozza és így a metánképződés folyamatát gátolja [Bánhegyi, 1993

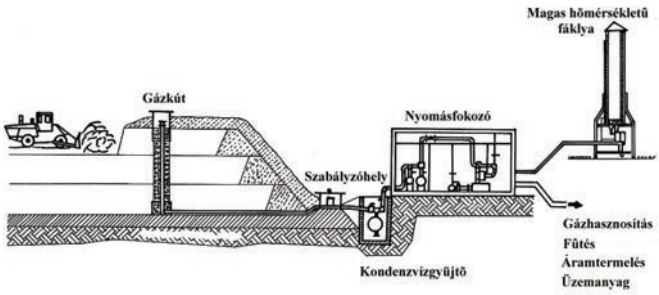


1. ábra. **A metán képződésére ható fő abiotikus tényezők [Christensen-Kjeldsen, 1989]**

A hulladékdepó és kiszolgáló létesítményei az 1994-ben készített hatástanulmány adatait alapul véve mintegy 20 ha területen kerülnek kialakításra, a depóniák végső magassága 30 m, kapacitása 3,9 millió m^3 tömör hulladék, amely közel 50 évig biztosítja a térség kommunális hulladékának ártalmatlanítását. Tehát összesen mintegy 2 500 000 tonna hulladék (kommunális és olajos) helyezhető el az üzemelés során. A beszállítani tervezett 40 000 tonna/év kommunális és 10 000 tonna/év olajos hulladék mennyiséget figyelembe véve a hulladéklerakás és az olajos hulladékok hasznosítása 50 évig folytatható. A hulladéklerakó Hódmezővásárhelytől délre 4414 sz. közúttól nyugatra, a városközponttól kb. 5-6 km-re helyezkedik el. A hulladéklerakó telep osztrák normák alapján kivitelezett műszaki védelemmel, csurgalékvíz-gyűjtődrén és depóniagáz elvezető rendszerrel ellátott hulladéklerakó, a hozzá kapcsolódó kiszolgáló létesítményekkel, művelése dombépítéses technológiával történik.

A depóniagáz termelés technológiája a hulladéklerakó telepen

A depónia gázkinyerő rendszer elemei a következőek: gázkutak, gázgyűjtő vezetékek, gázszabályozó állomás, nyomásfokozó, fáklya, gázmotoros konténer, transzformátor állomás, meteorológiai állomás (2. ábra).

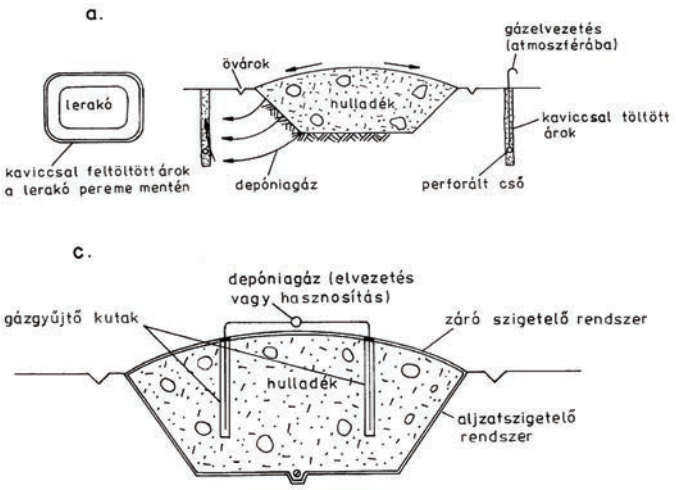


2. ábra. **Depóniagáz termelés létesítményei [Molnár, 2002]**

Gázkutak kialakítása

A hulladéklerakó telepi depóniagáz kinyerési eljárások lehetnek passzív és aktív gázellenőrző és mentesítő rendszerek. A passzív rendszer (3.ábra) legnagyobb hátrányaként említhető, hogy a depó-

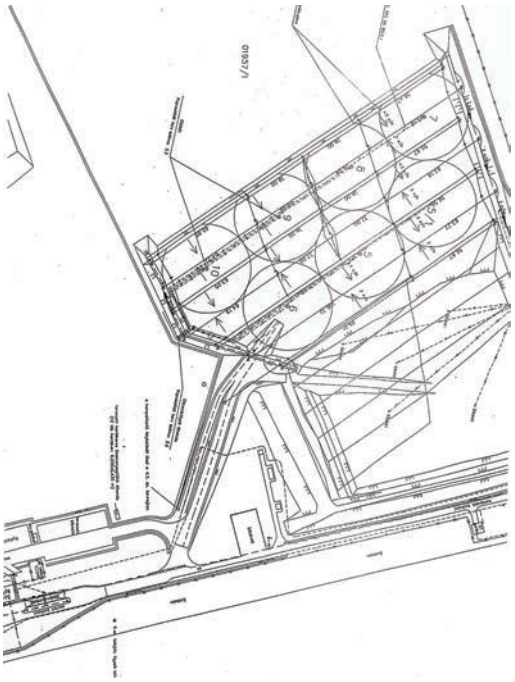
niagáz a gáznyomás hajtóerejével nyerhető ki a gázkutakból, ennek a termelékenysége elég alacsony. Olyan hulladéklerakóknál lehet alkalmazni, ahol a metán és szén-dioxid is nagy mennyiségben keletkezik. Ezáltal elmondható, hogy a passzív rendszer a depóniagáz légkörbe kerüléséhez nem nyújt kellő védelmet, ezért alkalmazása kevésbé ajánlott, illetve háttérbe szorul.



3. ábra. **A passzív gáz ellenőrző-mentesítő rendszer vázlata [Tchobanoglous et al., 1993]**
a. kaviccsal töltött gyűjtőárok és perforált cső, c. gázgyűjtő kutak

Ha a depóniagázt energiaforrásként akarják felhasználni, akkor nagyobb átmérőjű gázkutakat kell alkalmazni, amivel több gáz nyerhető [Szabó, 1999]. Az aktív gázgyűjtő egy hálózatosan elhelyezett csővezeték rendszerből épül fel, melyek lehetnek vízszintesek és függőlegesek és ezek kombinációja [Tchobanoglous et al., 1993].

A depóniagáz összegyűjtése gázkutak segítségével történik. A hulladéklerakó telepen a kezdeti időszakban alsó elszívású gázkutak voltak telepítve (4. ábra), azonban a süllyedésből és deformációból származó hibák nagymértékben akadályozták a gázkitermelés hatásfokát. Az alsó elvezetésű gázkutak problémája az elvizesedés és a süllyedésből származó deformáció. A kutak egymástól 40-55 m-re vannak telepítve, 0,9 m átmérőjűek. Az irányczső és termelőczső között karbonát szegény ($CaCO_3 \leq 30\%$) 32/75-ös zúzott kővel vannak feltöltve. Az 5 mm falvastagságú acél irányczső szolgál a kutak magasítására. Ha a hulladékfeltöltés megközelítette a 4,3 m-t a termelőcsövet meghosszabbítjuk és az irányczsövet az emelő fülek és daru segítségével magasítjuk. Az alsó elvezetésű gázkutak hibaforrásai miatt áttértek a felső elvezetésű gázkút kialakításra (5. ábra). Felső elvezetésű gázkutak a



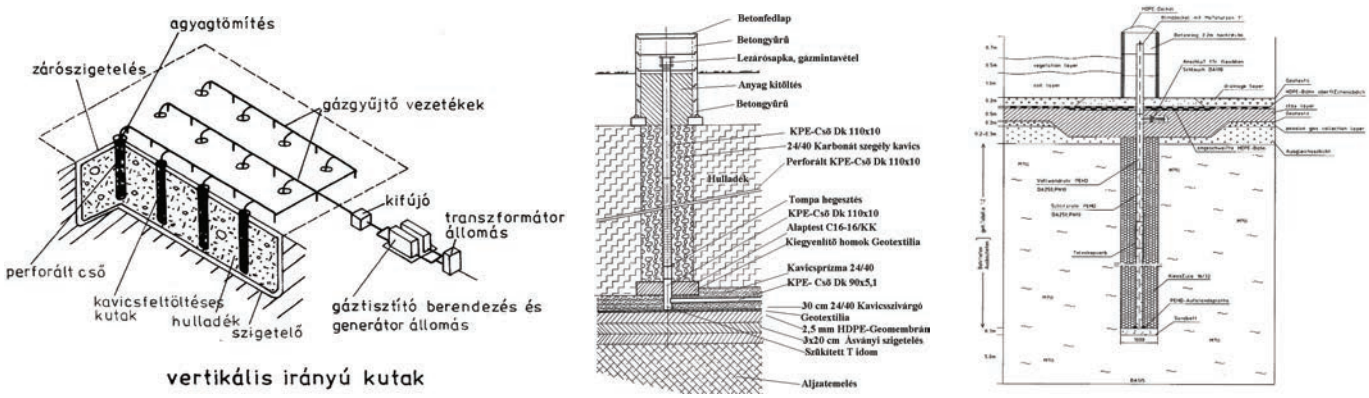
A szabályozó állomáshoz tartozó gázkutak: [2]
1. Sz. á. 6 szabályozó egység (1-6. kutak); 2. Sz.á.8 szabályozó egység (7-14. kutak); 3. Sz. á. 8 szabályozó egység (15-22. kutak), 4. Sz. á.8 szabályozó egység (23-30. kutak), 5. Sz. á.10 szabályozó egység (31-40. kutak); 6. Sz. á. 8 szabályozó egység (41-48. kutak); 7. Sz. á. 8 szabályozó egység (49-56. kutak); 8. Sz. á. 4 szabályozó egység (57-60. kutak)

5. ábra. **A hulladéklerakó telepen elhelyezkedő gázkutak elrendezése a 2. ütemben [Tchobanoglous et al., 1993]**

lerakó feltöltése, vagy bizonyos magasság elérése után épülnek, az üzemeltetést nem hátráltatja. A kút és kavicsvédelme nem sérül meg, alul előfordulhat vizesedés, de a gáz felfelé kiszívható, tisztítást, javítást nem igényel. Jó minőségű gáz és kitermelési hozam érhető el. Hátrányként említhető, hogy csak a kút építése után kezdődik a gázelvétel.

A hulladéklerakó telepen elhelyezkedő gázkutak elrendezése

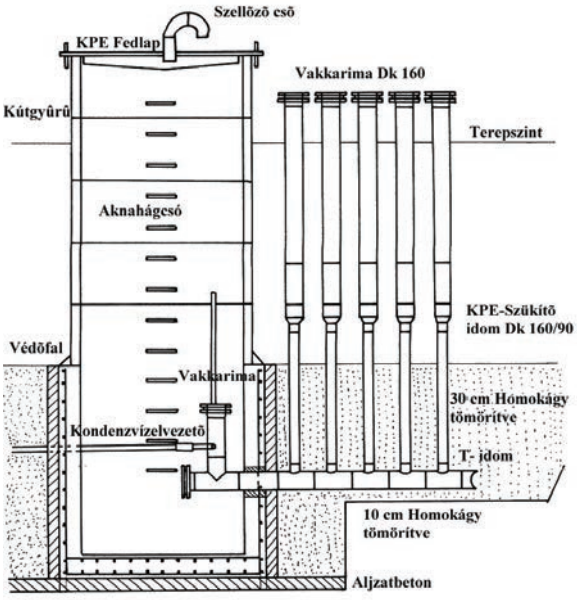
A keletkező depóniagáz elvezetésére a teljes hulladékvertikumot és az üzemeltetési időt tekintve, a tervezett 60 db gázkút segítségével kerülne összegyűjtésre a depóniagáz (5. ábra). Mindegyik szívóvezeték külön-külön szabályozható, a maximális tervezett biogáz termelés 2950 m^3/nap. A szabályzó állomások méretei nagyobbak, vagy kisebbek lesznek a szabályzó egységek számának megfelelően. Jelenleg a hulladéklerakó telepen 20 db gázkút van bekötve a termelésbe, a többit a folyamatos feltöltéssel helyezik majd üzembe.



4. ábra. **Aktív gázgyűjtő rendszer, alsó és felső elvezetésű gázkút [Tchobanoglous et al., 1993)**

Gázszabályzó állomás és kondenzvíz-leválasztó akna elhelyezkedése és felépítése

A gázszabályzó állomásban minden egyes gázkút gyűjtővezetéke egyenként szabályozható. A szabályzó állomásban lehetőség van a biogázt két különböző minőségre osztani, mint hasznosítható, vagy fáklyázható. Ennek megfelelően az állomást két párhuzamos főgyűjtő hagyja el. A főgyűjtőbe csatlakozás előtt minden gyűjtővezetéken pillangó szelep és mintavevő található. A biogáz mintavevő golyósszeleppel nyitható, és lángzárral van ellátva. A mintavevő nyíláson lehetséges a nyomás-, hőmérséklet és áramlási sebesség mérése. A kimenő és bejövő vezetékek is pillangószeleppel vannak ellátva. A főgyűjtővezetékek eséssel vannak kialakítva a kondenzvíz-leválasztó aknák felé (6. ábra). A kondenzvíz egy PE-HD betonvédőlemezzel szigetelt medencében gyűlik szűkítőn keresztül.



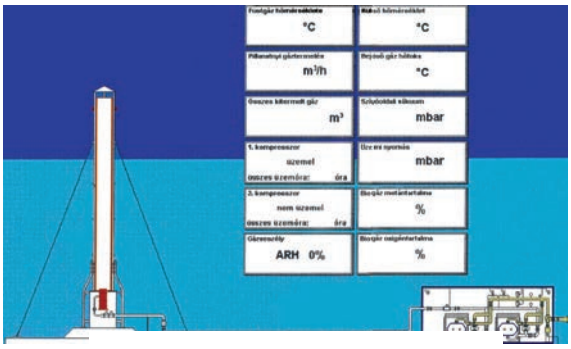
6. ábra. **Gázszabályzó állomás és kondenzvíz-leválasztó akna**

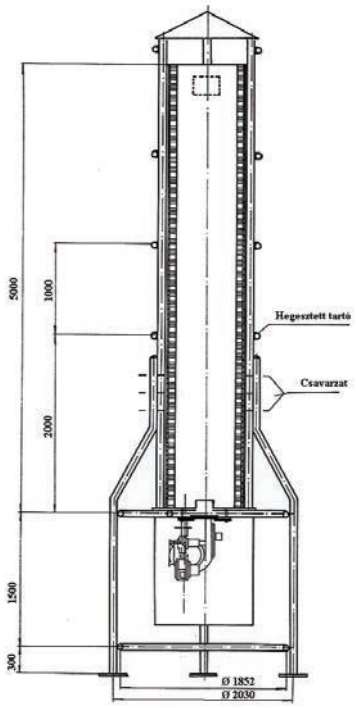
Vákuum-szivattyúk kialakítása és elhelyezkedése

A vákuum-szivattyú a konténerben van elhelyezve, elegendő távolságra az irodaépülettől. A vákuumszivattyúk számát a depóniagázprognózis alapján határozták meg. A hulladéklerakó maximális gázmennyiségének leszívására 2 db 0–500 m^3/h szállítási kapacitású vákuumszivattyú szükséges, a számított 135 mbar nyomáskülönbség elérésére. A vákuumszivattyú úgy van tervezve, hogy lehetőség legyen a keletkező depóniagáz minőség és mennyiség alapján különböző teljesítményű szivattyúkra rákapcsolni.

Depóniagáz fáklya kialakítása és elhelyezkedése

A keletkező depóniagázok elfáklyázására egy magas hőmérsékletű fáklyára van szükség (7. ábra). Az első üzembe helyezett fáklya teljesítménye 50–200 m^3/h volt, mely rendelkezik: lángvisszacsapó szeleppel, áramhiány esetére önműködő gyorszárású szeleppel, gázhiány-jelzővel, UV-lángellenőrzővel és elektromos gyújtóval. A gázfáklyára csak akkor van szükség, ha a gázmotoros egység karbantartását és időszakos ellenőrzését végzik.





7. ábra. **Depóniagáz ellenőrző mérési rendszer, gázfáklya általános felépítése**

Vezérlő és szűrő berendezések

A vezérlő és szűrő berendezések a vákuumszivattyú konténerében találhatóak (7. ábra). A mintavétel mérővezetékeken történik, a következő paraméterek mérésére kerül sor. Minőségi paraméterek közül a CH_4 és O_2 tartalom mérése a gázkutaknál, az erre a célra kialakított mérési pontokon keresztül történik. Illetve közvetlenül a konténerbe való csatlakozás után, és az egyesítés után kerül mérésre. Az alkalmazott elszívás mértéke és a gázkutakban uralkodó nyomásviszonyok mérése a gázkutaknál az erre a célra kialakított mérési pontokon keresztül történik, a rendszer szabályzása céljából, illetve a vákuumszivattyú és a gyorszáró előtt, és a gáznyomás-szabályzó után. A kitermelt mennyiségek mérése a konténerbe csatlakozást követően, a nyomásszabályzók után történik.

Biztonságtechnikai előírások és szabályok

Egy metán-levegő keverék, melyben a metán 5–15 tf% és a levegő 11,6 tf% van jelen, az robbanásképes. Ezért a gázkoncentráció ellenőrzése szükséges, a biztonságos üzemeltetés érdekében a rendszer 25 tf% CH_4 és 6 tf% O_2 mellett a kompresszort kikapcsolja. Ez a koncentráció csak a elszívás első fázisában állható elő, mikor még viszonylag vékony a hulladékréteg vastagsága. Az első magasításig az elszívást nem indítjuk be, mert a gázkút még nem funkcióképes. Az első magasítás után a hulladék vastagsága kb. 4 méter és az iránycső csak kb. 3 méterre lesz a hulladék lerakási szintje fölé magasítva, ekkor indítható a depóniagáz elszívása.

Összefoglalás

Az alkalmazott elszívási technológiák és gázkút kialakítások nagymértékben befolyásolják egy adott hulladéklerakó-telep gazdaságosságosságát. Mivel mind a kitermelésben „mennyiségi", illetve a depóniagáz „minőségi" értékeiben is jelentős különbségek adódnak. Ezért a technológiák helyes megválasztásával biztosítani tudjuk az energetikai hasznosításhoz szükséges metántartalmat illetve mennyiségi paramétereket. A depóniagáz telepek jövőjét meghatározza a hulladéklerakó telepekre beérkezett szerves hulladék mennyisége és ennek a biológiailag lebontható részaránya, amit törvényi előírások is szabályoznak. Jelen időszakban a törvényi kötelezettség miatt, a hulladéklerakó telepektől el kell irányítani a biológiailag lebomló hulladékokat, ez jelentősen ronthatja a kitermelési paramétereket, de a légkörbe való bejutását azonban meg kell akadályoznunk. A hulladékok kezelése és szabályos lerakása mellett évek telnek el, míg egy-egy depóniagázkút teljesen kiapad, ezért meg kell akadályozni, hogy az üvegházhatást okozó gázok a légkörbe kerüljenek és ezzel a környezetünk terhelését növeljék. A depóniagáz termelődés folyamatainak szabályzása nehéz feladat, mivel széles tartományban mozog a lerakott hulladék szerves anyag tartalma. Így nehezen határozható meg egy adott hulladéklerakóban a keletkezett depóniagáz mennyisége és minősége és ennek időbeli eloszlása. A depóniagáz mennyiségi és minőségi paramétereit így a hasznosítási lehetőségeket is nagymértékben befolyásolja egy adott régiónak a szerves anyag potenciálja, illetve a jellemző időjárási paraméterek, illetve a megválasztott depóniagáz kitermelési rendszer. A depóniagáz kinyerés és hasznosítás, mint gáztechnikai beruházás tűz- és robbanás veszélyes, ahol gázmentesítő rendszer elemeinek meg kell akadályozni, hogy a depóniagáz a rendszerből kijusson Jelentősége a kutatási területnek a következő: a hulladékok korszerű elhelyezésével környezetünk megóvás mellett, energetikailag hasznosítható alternatív energiaforrást tudunk alkalmazni hő és villamosenergia-termelésre.

Irodalomjegyzék

[1] BÁNHEGYI, I. (1993): Biológiai hulladékkezelés. Hulladékgazdálkodás (szerk. Árvai J.), Műszaki Könyvkiadó, pp.39-423

[2] BAI A.(2005): A biogáz előállítása - Jelen és jövő, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.

[3] BARÓTFI, I.(2000): Környezettechnika kézikönyv. Mezőgazda Kiadó, Budapest

[4] CHRISTENSEN, TH.H -KJELDSEN, P. (1989):Basic biochemical process in landfills Sanitary Landfilling (ed.: CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.) Academic Press, pp. 29-48.)

[5] DÉRI, L. – HUDÁK, I. – REITH, I. – SZABÓ, I. – NAGY, GY.(2002): A települési szilárd hulladéklerakók beruházásához, üzemeltetéséhez, és bezárásához, Köztisztasági Egyesülés Tervezési segédlet, Budapest.

[6] EPA (1988): Waste minimization opportunity assessment manual. United States Environmental Protection Agency (EPA/625/7-88/003) Cincinnati, Ohio.

[7] FARKAS F.(2011): Biohajtóanyagok felhasználásának lehetőségei és korlátai. Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban konferencia. Miskolc-Egyetemváros, 2011. május 18. p. 205-214.

[8] KAJNER P.(2000): Magán- és közszféra együttműködése a települési hulladékgazdálkodásban Magyarországon X. Országos Köztisztasági Szakmai Fórum és Kiállítás, Szombathely 2000. április 18-20. pp. 83-89.

[9] MOLNÁR, T. (2002): Biogáz kinyerés és hasznosítás a hódmezővásárhelyi hulladéklerakó telepen, SZIE- Gépészmérnöki Kar, Környezettechnika Tanszék Diplomamunka, Gödöllő.

[10] McDONALD S. – BISHOP A. G. – PRENZLER P. D. – ROBANDS K. (2004):Analytical chemistry of freshwater humic substances. Review. Analytica Chimica Acta, 527: 105-124. p.

[11] OLESSÁK, D. – SZABÓ, L.(1984): Energia hulladékokból. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.

[12] RYDING, S. O. (1994): Environmental management handbook. IOS Press, US;New Ed edition. 798. p

[13] ZEHNDER, ABJ.(1998): Biology of Anaerobic Microorganisms. New York: John Wiley and Sons, 1988.

Milyenek a CCS kilátásai?

A 2014-ben üzembe helyezett kanadai Boundary Dam erőmű volt a nagyerőművi méretű széndioxid leválasztás és eltárolás (CCS) technológiájának első igazi nagy mérföldköve. Az erőmű évi 1 millió tonna CO_2-t választ le, az első évi üzem tapasztalatai alapján azonban akarnak még problémák. Az erőmű tervezett beruházási költsége 900 millió dollár volt, a tényleges költség a beruházás végére ez 1,1 milliárd dollár lett. A tiszta szén technológiák második állomása az 582 MW-os újépítésű Kemper County erőmű szintén nem problémamentes, így felmerül a kérdés mi lesz a CCS technológia sorsa a jövőben?

A CCS célja a légköri szén-dioxid kibocsátás csökkentése erőművekben és más magas kibocsátású ipari szektorokban (mint a cementgyártás, acélgyártás). A technológia maga nem új keletű a vegyipar és az olajipar révén, erőművi demonstrációs és kutatási projektekben 2009 óta van számottevő aktivitás. A kutatások ellenére az igazi nagy áttörés még várat magára, ráadásul sorra állítanak le fejlesztéseket. 2013-ban Norvégia leállította a hosszútávú geológiai tárolás megvalósítását célzó nagy projektjét. Idén a párizsi klímacsúcs előtt pár nappal, november 25-én a brit kormány visszavonta 1,5 milliárd dolláros támogatását, mely két nagy CCS projekt sikerét is veszélyezteti. A Kemper County erőmű pedig már két évet tolódott az eredeti tervekhez képest, az előzetes várakozások szerint 2016. június 30-án indul meg a kereskedelmi üzem. Az építési költségek jelenleg 6,5 milliárd dollár felett járnak, ez az eredeti tervek több mint háromszorosa. Természetesen a Mississippi Power egyik legdrágább beruházását 186 000 fogyasztója állja a folyamatosan emelkedő villanyszámlák révén. Az állam döntéshozói és a projektet eredetileg támogatók ma már sorra a projekt ellen nyilatkoznak. A beruházást sietetett ütemben kezdték meg az adókedvezmények elnyerése érdekében, így kész tervek híján anyag- és eszközhiányok léptek fel, sőt részegységeket újra kellett építeni.

A CCS technológiáról megoszlik a szakértők véleménye, de azzal mindenki egyetért, hogy a technológia elterjedésének alapvető gátja rendkívül költséges mivolta. A Kemper County erőműben alkalmazott technológia jövőbeli forgalmazója, a Southern cég a megnövekedett költségek által okozott hátrányokat elismeri, ám ennek ellenére eredményesnek értékeli a megépült részeket. Az IPCC szervezete szerint a CCS alapvető eleme a 2 °C-os klímavédelmi határérték betartásának, addig a Greenpeace és a WWF szerint ez a technológia nem lehet eszköze a klímaváltozás elleni harcnak. A párizsi klímacsúcson sem jut nagy szerephez a technológia, 170 ország akcióterveiből csak 8 említette érdemben a tisztaszén technológiákat.

Szakértők szerint a CCS technológia jelenleg erős hátrányban áll a megújulókhoz képest, mely lemaradást már nehéz lesz behozni. Az IEA adatbázisa szerint jelenleg 13 nagyüzemi CCS projekt üzemel világszerte, melyek évente 26 millió tonna CO_2-t választanak le. Az IEA szerint a technológia jelentős támogatás és kvótapiaci változások mellett fejlődhet a várakozásoknak megfelelően. Számításaik szerint a világon eddig 12 milliárd dollárt fektettek CCS fejlesztésekbe, melynek 80% privát tőke, főleg olajipari és gázipari befektetőktől (és nem a szénipari vállalatoktól). A World Coal Asssociation szerint a szénipari vállalatok is foglalkoznak CCS beruházásokkal (például a kínai Tianjin erőmű esetében), de szerintük csak akkor várható áttörés, ha a megújulókhoz hasonló támogatás jár majd ezekre a projektekre is.

Település-hőellátás helyi forrásokból, hatékonysága és megvalósítása I.

Büki Gergely[†]
ny. egyetemi tanár

Orbán Tibor
okl. gépészmérnök, torban@fotav.hu

A települések helyi forrásokból történő hőellátása gyakorlatilag a megújuló energiák helyben történő hasznosítását jelenti. A Megújuló energiák hasznosításának hazai cselekvési terve (NCsT) – az EU irányelveinek megfelelően – 2010-ben készült és 2020-ig jelöli meg a fejlesztés célkitűzéseit [1]. A megújulók hasznosítása célkitűzéseit az MTA részéről segítették a KÖTEB Köztestületi Stratégiai Programok, a 2010-ben megjelent Megújuló energiák hasznosítása [2] és a 2012-ben kiadott Áttekintés Magyarország energiastratégiájáról [3] kötetek. Jelenleg félidőben vagyunk. Most nem az a feladatunk, hogy újabb célkitűzéseket fogalmazzunk meg, viszont át kell tekintenünk és értékelnünk kell a hasznosítás állását. Két félidei helyzetjelentésre utalunk. Az egyik optimista jelzés: „jó úton haladunk a vállalt 14,65 százalékos részesedési cél teljesítése felé" [4]. A másik egy pesszimista megnyilvánulás: „Ébresztő, Magyarország!" [5].

A megújuló energiák hasznosításának a települések helyi hőellátásban betöltött félidei helyzetét vizsgálva, az alábbiakban áttekintjük

- **a települések helyi, megújuló energiaforrásokkal biztosítható hőellátási megoldásait,**
- **az energiatakarékosság és az energiahatékonyság párhuzamos szerepét,**
- **a helyi hőellátás jelenét, megvalósításának problémáit, köztük a vidékfejlesztés és településenergetika, a munkahelyteremtés, a hazai gyártás és innováció, az energetikai tervezés, auditálás és létesítés, illetve a fejlesztések fenntarthatósági/gazdaságossági/támogatási kérdéseit.**

*

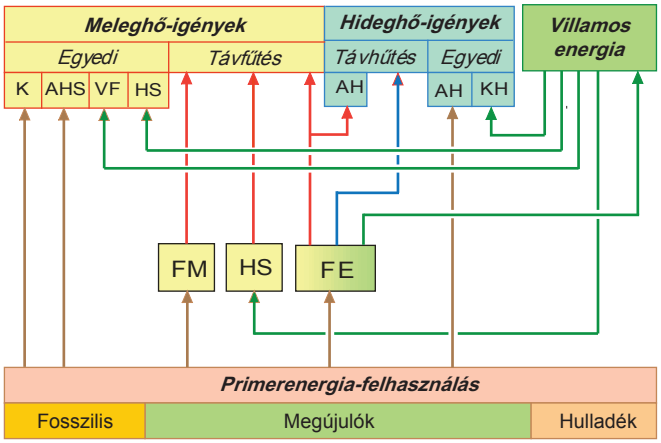
The heat supply of settlements from local sources basically means the in-situ utilization of renewable energies. In compliance with the EU policies, the Action Plan for the Use of Renewable Energies was finalized in 2010 and sets targets until 2020 [1]. The renewable targets were helped by the Membership Strategic Programmes of the Environmental Presidential Committee of the Hungarian Academy of Sciences and the following publications: Utilization of Renewable Energies, published in 2010 [2] and the Overview of the Energy Strategy of Hungary, published in 2012 [3]. We are currently halfway through. Our task now is not to set more targets but review and assess the state of utilization, meaning two mid-term status reports. One sends an optimistic message: „We are on the right track to achieve the 14,65% target" [4]. The other one is more pessimistic: „Wake up, Hungary!" [5].

In our evaluation of the mid-term utilization of renewable energies in the local heat supply of settlements, the following will be reviewed:

- **heat supply solutions of settlements with local renewable energy,**
- **the parallel role of energy saving and energy efficiency,**
- **the current situation of local heat supply, the problems of implementation including issues related to regional development and energy, job creation, domestic manufacturing and innovation, energy planning, auditing and implementation as well as the feasibility, economy and funding of projects.**

* * *

Egy település hőellátási lehetőségeiről az *1. ábra* ad áttekintést. Az egyedi hőellátás mindig a végenergia-felhasználókhoz kapcsolódik, a távhőrendszerek a települések energiaszolgáltatói. Jelenleg a települések hőellátása jórészt földgázbázisú, ennek infrastruktúrája épült ki. A jövőben az egyedi és a távhőellátás forrása lesz a megújuló energia és a hulladék, néhány hőellátást (fűtés és hűtés) akár a villamosenergia-rendszer is táplálhat. A jelenlegi egyedi és távhőellátás a meleghő-igények, a fűtés és a használati melegvízellátás kielégítését jelenti, de a klímaváltozással összefüggésben egyre nagyobb szerephez jutnak a nyári hűtések, a klímaberendezések. Ezek az első szakaszban elsősorban egyedi berendezésként jelentek meg, az energiahatékonyság növelése egyre inkább előtérbe helyezi a távhűtési megoldások fejlesztését, illetve a fűtést és hűtést egyaránt ellátó rendszerek kialakítását. Ugyancsak az energiahatékonyság növelése indokolja a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés és a hőszivattyúzás fokozott alkalmazását. A hőszivattyúzás az egyedi és a távhőellátásban, fűtési és hűtési célra egyaránt számításba vehető. A kapcsolt energiatermelés a nagyobb távhőrendszerek hatékonyságnövelője, eddig elsősorban fűtési hőellátás esetén alkalmazták, de a távhűtésnek is hatékony eszköze lehet (trigeneráció).



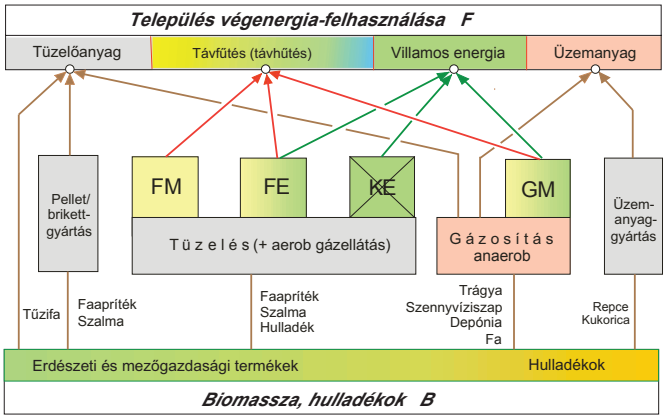
1. ábra. **A települések egyedi fűtési és hűtési megoldásai, illetve távhőrendszerei**

A település-hőellátás megújuló forrásai a biomasszák és hulladékok, a geotermikus energia és a napkollektorokkal összegyűjtött naphő.

[1] A cikk a „Települések hőellátása helyi erőforrások felhasználásával" című konferencia előadása alapján készült

Biomassza-hasznosítás

A települések egyik helyi megújuló energiaforrása a biomassza, amelynek hasznosítási lehetőségeit a *2. ábra* mutatja. A biomassza széles értelmezésben az erdészeti és a mezőgazdasági termékektől a hulladékokig terjed. Az üzemanyaggyártás mellett a biomaszszák a települések egyedi és távhőellátásának bázisát képezik.



2. ábra. **A biomassza energetikai hasznosításának lehetőségei**

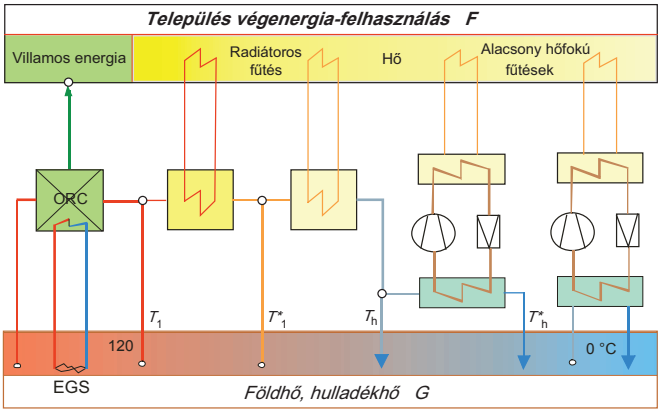
Az egyedi hőellátásban a tűzifa, a fa- és szalmabázisú pelletek és brikettek használhatók. A földgázkiváltás szándéka megnövelte iránt a keresletet, korszerű tüzelőberendezések segítik elterjedésüket. A minőségi alapanyagok ára és az előállítási technológia magas költsége azonban fékezi is alkalmazásukat (a pellet jelenleg drágább a földgáznál). Másrészt a jól szigetelt épületeknél növekszik az egyedi kazánok beépítési költsége (zárt égési rendszer, kéménybélelés).

A gyengébb minőségű biomasszák a fűtőműves és a fűtőerőműves távhőellátásban hasznosíthatók. A hasznosítás alaptechnológiája lehet tüzelés, tüzelés + aerob elgázosítás (fagáz) és anaerob elgázosítás. Az energiahatékonyság érdekében a kapcsolt hőtermelést szorgalmazzuk, de ez csak viszonylag nagyobb távhőrendszerekben válik indokolttá. Elgázosítási technológiák esetén a kapcsolt energiatermelés kézenfekvőbb és indokoltabb, mert a gázmotor a biogáz, illetve a fagáz hasznosítására egyszerű és hatékony megoldást nyújt. A biomassza-hasznosítás során a kizárólagos villamosenergia-termelést kerülendőnek, hátrányosnak tartjuk kis hatásfoka miatt, illetve, mivel a korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló biomasszát a hőellátásra hatékonyabban tudjuk hasznosítani.

A biomassza-hasznosítás egyik sikeres ágazata a biogáz-termelés, amelynek három lehetőségét a *3. ábra* mutatja be.

Geotermikus hőellátás

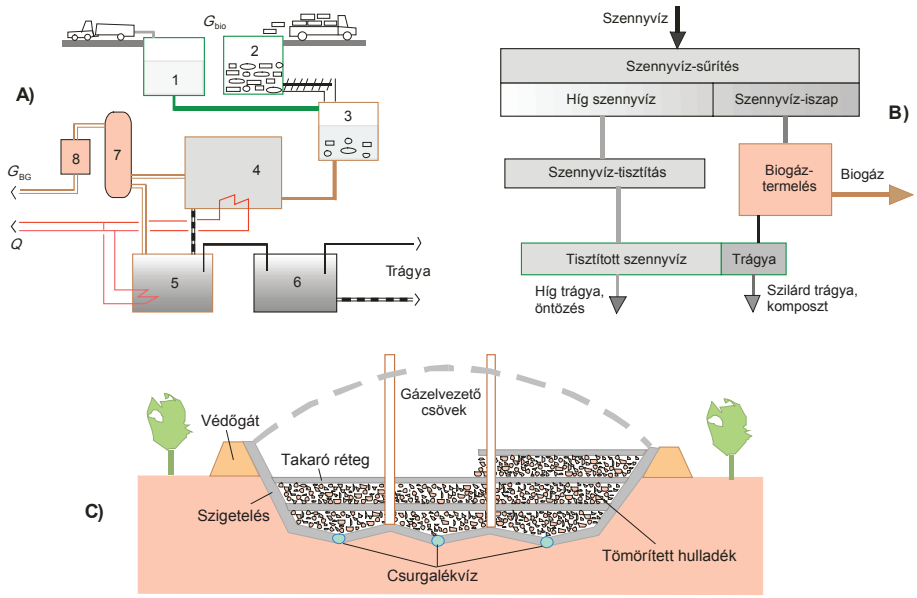
Hazánk geotermikus energia adottságai viszonylag kedvezőek. A termálvizeket igyekszünk komplexen hasznosítani hőellátásra, balneológiai (gyógyvíz esetén) és kertészeti célokra, ám meghatározó szerepe a települések geotermikus hőellátásában van. A hőellátásban a hasznosítást alapvetően a kinyerhető termálvíz hőmérséklete befolyásolja, amit a *4. ábrán* követhetünk.



4. ábra. **A geotermikus hő hasznosítási lehetőségei**

Geotermikus hőellátás esetén, ha a kinyert termálvíz kellően magas hőfokszintű, akkor a szokásos hőmérsékletű radiátoros fűtések is elláthatók. Ha alacsony hőmérsékletű fűtéseket alkalmazunk, akkor kisebb hőmérsékletű termálvíz is megfelel, illetve a termálvíz jobban lehűthető. A termálvíz további lehűtése, a geotermikus hőellátás fokozása érhető el hőszivattyús továbbhűtéssel. Az alacsony hőmérsékletű földhő független hőszivattyúzással is hasznosítható.

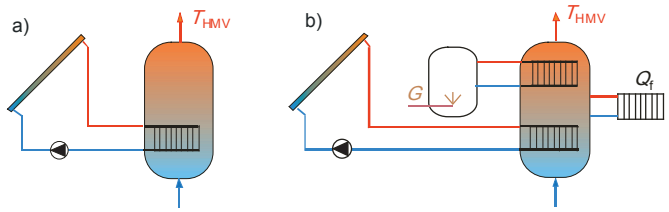
Külön szólni kell a geotermikus villamosenergia-termelésről. Korábban a fábiánsebestyéni gőzkitörés irányította erre a figyelmet, most a termálvízből történő és az EGS rendszerű villamosenergia-termelés szándékát tapasztalhatjuk, ezeket a lehetőségeket a 4. ábrán is feltüntettük. A villamosenergia-termelés hatásfoka mind termálvíz, mind EGS rendszer esetén szükségszerűen nagyon kicsi. Ezek nem hatékony, ám nagyon kockázatos megoldások, és elterelik a figyelmet és a forrásokat arról, hogy a korlátozottan rendelkezésre álló geotermikus hővagyonunkat hatékonyan hőellátásra lehet és indokolt hasznosítani.



3. ábra. **A biogáz-termelés három rendszere**

Napkollektorok alkalmazása

A napenergiát hőellátásra napkollektorokkal kétféle módon hasznosíthatjuk, önállóan vagy kiegészítő ráfűtésként *(5. ábra)*.



5. ábra. **Napkollektorok önálló (a) és kiegészítő alkalmazása (b)**

A napkollektorok önálló alkalmazása elsősorban üdülők nyári használati melegvíz-ellátása esetén jöhet számításba. A ráfűtés viszont minden fűtési és HMV szolgáltató rendszernél alkalmazható, ám a nagyhatékonyságú kapcsolt hőtermelésen alapuló, illetve a megújuló energiákat hatékonyan hasznosító távhőrendszereknél kerülendő.

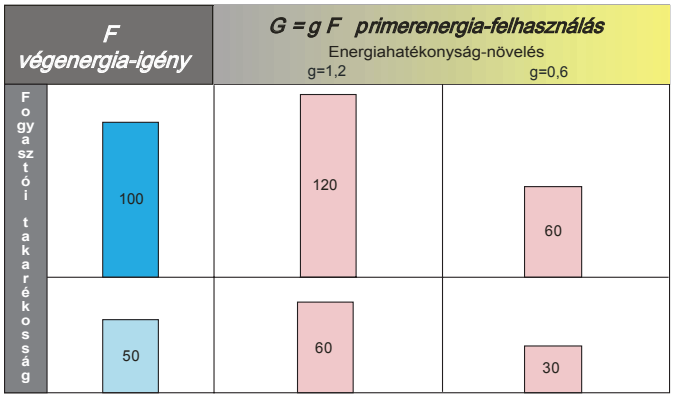
Energiatakarékosság és energiahatékonyság

Az energetika fejlesztésének két egymást kiegészítő eszköze a fogyasztói energiatakarékosság és az ellátás energiahatékonysága. Az energetikai cél mindenképpen a

$$G = gF$$

primerenergia-felhasználás csökkentése, amelyben F a végenergia-igény (a fogyasztói energiatakarékosság jelzője), g az érintett végenergia előállításának fajlagos primerenergia-felhasználása (a hőellátás hatékonyságának mutatója). A végenergia-igényt csökkentő fogyasztói energiatakarékosság a társadalomban és a szakmában egyaránt közismert, ám a hőellátás hatékonyságának fogalmai és főleg mutatói még a szakmai körökben és rendeletekben is számos hiányosságot, zavart mutatnak. Hasonlóan az energiatakarékosság és a költséghatékonyság együttesét hangsúlyozza a hőellátás energiaköltsége: $C_G = k_G F = p_G G$, ahol $k_G = g p_G$ a fajlagos energiaköltség és p_G a felhasznált primerenergia hőára.

A *6. ábra* a fogyasztói energiatakarékosság és a hőellátás hatékonyságának egyaránt fontos szerepét elvi példákkal érzékelteti.



6. ábra. **Végenergia-igény és primerenergia-felhasználás, energiatakarékosság és energiahatékonyság**

Energiatakarékosság, épületek hőszigetelése

A fogyasztói energiatakarékosság jelenleg legnagyobb lehetősége a rossz hőtechnikai jellemzőkkel rendelkező épületeink utólagos hőszigetelése, nyílászáróinak cseréje, illetve az elavult épületfűtési és hmv-ellátó rendszerek korszerűsítése.

A hőellátás hatékonysága

A hőellátás hatékonyságnövelésének általános lehetősége a jobb hatásfokú berendezések (pl. kondenzációs kazánok) alkalmazása, koncentrált lehetőségei pedig az erőművi kapcsolt energiatermelés és a hőszivattyús hőtermelés.

Ha a Q hőtermeléshez G primerenergiát használunk fel, és E villamos energiát termelünk (–) vagy fogyasztunk (+), akkor a hőtermelés fajlagos primerenergia-felhasználása általánosan [6]

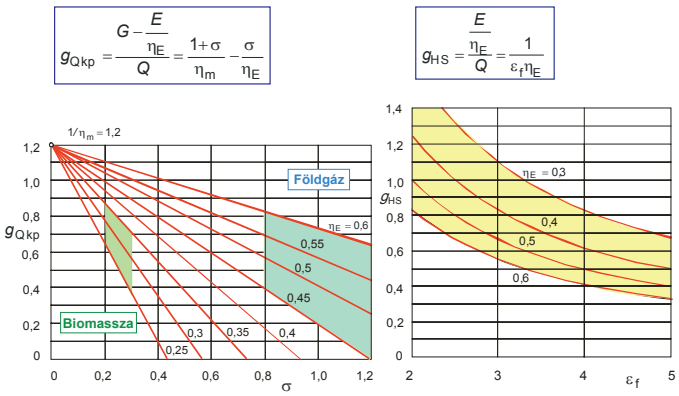
$$g = \frac{G \pm \dfrac{E}{\eta_E}}{Q},$$

és a hőtermelés fajlagos primerenergia-költsége

$$k_{GQ} = \frac{G p_G \pm E k_{GE}}{Q}.$$

Az összefüggésekben η_E a villamosenergia-termelés hatásfoka, k_{GE} a villamosenergia-termelés fajlagos primerenergia-költsége.

A hőtermelés fajlagos primerenergia-felhasználását erőművi kapcsolt és hőszivattyús hőtermelés esetén a *7. ábrán* mutatjuk be.



7. ábra. **Kapcsolt és hőszivattyús hőtermelés fajlagos primerenergia-felhasználása**

Az erőművi kapcsolt hőtermelést nagyobb távhőrendszerekben régóta alkalmazzuk, számos EU irányelv és hazai rendelkezés kiemelten ösztönzi a nagyhatékonyságú (és nem nagyhatásfokú!) kapcsolt energiatermelés alkalmazását. A hőszivattyúk egyedi és távhő termelésére az utóbbi időben váltak időszerűvé. Érdemes a két hőtermelést azonosan vagy eltérően befolyásoló hatásokat áttekinteni:

- A kapcsolt és a hőszivattyús hőtermelés alapját egyaránt a hasznos hőigény képezi.
- A fogyasztói energiatakarékosság csökkenti a hőigényeket, mindenképpen rontja a kapcsolt energiatermelés hatékonyságát, viszont növeli a hőszivattyús hőtermelés versenyképességét.
- Eltérő a villamosenergia-rendszer hatása. A kapcsolt energiatermelés a villamos energia minél drágább értékesítésében, a hőszivattyúzás viszont a villamos energia minél olcsóbb vételezésében érdekelt.

- A kapcsolt és a hőszivattyús hőtermelés egyaránt érzékeny a hőtermelés hőmérsékletére, ám a gyakorlatilag megkövetelt hőmérsékletek hőszivattyúzásnál kisebbek.
- A fűtés ellátása mellett egyre inkább számolni kell a hűtés igényével. Ezzel mindkét eljárás kiegészíthető, hőszivattyúzásnál kézenfekvőbben.
- A kapcsolt hőtermelés elsősorban a nagy távhőrendszerek hőforrása, a hőszivattyúzás inkább az egyedi hőellátásban és a kisebb távhőrendszerekben alkalmazható.

Megújulók fejlesztése félidőben – települések hőellátása saját forrásból

A települések saját forrásból történő hőellátása szorosan összefügg az erre a célra használt megújulók fejlesztésével. A megújulók fejlesztésére készített hazai terv félidejében indokolt megvizsgálni, hogy a megújulók eddig hogyan befolyásolták a települések hőellátását, és a jövőben hogyan lehet megvalósításukat segíteni, szerepüket fokozni.

Helyzetkép, az elmaradás okai

A két legjelentősebb megújulónál, a biomasszánál és a geotermikus energiánál jelentős az elmaradás a tervezett és a tényadatok között. Az eleve alábecsült biomassza-hasznosítás számottevő csökkenés után állt be a tervezett értékre, a geotermikus hő hasznosítása pedig gyakorlatilag stagnál. A biogáz-termelésnél a tervezett és a tényleges adatok jól egyeznek. Az alacsony szintről induló hőszivattyúzás és a termikus napenergia-hasznosítás esetén viszont nem tapasztalunk érzékelhető előrelépést. Az eredőben tervezett mintegy 6 PJ évi átlagos megújuló-növekedés helyett eddig csökkenés történt.

Az energetikában mindig indokolt figyelni mások gyakorlatára is. A megújulók részaránya Magyarországon kisebb, mint az EU-28-ban. Különösen jelentős a különbség a villamosenergia-termelésben. A közlekedésben, a bioüzemanyag-felhasználás arányában nincs számottevő különbség.

Az elmaradás okait a jövőbeni fejlesztés érdekében elemeznünk kell, még akkor is, ha az okok feltárása elkerülhetetlenül szubjektív megítéléseket is tartalmaz.

Az elmaradás egyik meghatározója, hogy a megújuló energiák hasznosítása szervesen nem épült be sem a nemzetgazdaság fejlesztésébe, sem a társadalom tudatába, aminek több oka is említhető. A hazai energetikai szakma – a megújuló energiák hasznosítását illetően is – megosztott. Vannak, akik a megújulók alkalmazásában látják a jövő energetikai kérdéseinek maradéktalan megoldását, ám vannak, akik a megújuló energiák felhasználását nagyon költségesnek, hosszú idő alatt megtérülőnek, szélsőségesen pedig csupán pótcselekvésnek, felesleges támogatásnyelőnek tartják. Kompromisszumra mind a szakmában, mind a társadalomban törekedni kell. Egyetértést csak szakmai és gazdasági vizsgálatok, tervezések, türelmes egyeztetések, ezekben lefolytatott viták eredményezhetnének, ám ezek a közelmúltban nem voltak erősségei az érintett szakterületnek.

Sokan vélik úgy, hogy a magyar energiaellátás eldöntött fejlesztései is meghatározó befolyással vannak a megújuló energiák alkalmazására. Itt elsősorban Paks2 hatására gondolnak. Ezzel összefüggésben ismét utalnunk kell arra, hogy a megújuló energiák nagyobb részét (biomasszát és hulladékokat, geotermikus energiát, napkollektorokat) a hőellátásban lehet vagy célszerű hasznosítani, ezt nyilván nem befolyásolhatja Paks2 (a vízerőművek, a szélerőművek és a napelemek pedig nem alternatívái, hanem hasznos kiegészítői az atomerőműnek).

A megújuló energiák hasznosításának – mind a hőellátásban, mind a villamosenergia-termelésben – természetesen vannak szolid, széles körben alkalmazott, gazdaságos és hatékony megoldásai, ám előfordulnak ún. világmegváltó, kockázatos elképzelések is. Az első körbe sorolhatók pl. a biomassza-hasznosításra egyedi és távhőellátásban számításba vehető korszerű fűtőművek és fűtőerőművek. Az utóbbi elképzelések hazai köre is – sajnos – nagyon színes: régóta él az alacsony hőmérsékletű geotermikus hő hasznosításának szándéka villamosenergia-termelésre, és bizonyos érdekcsoportok a biomasszát (fát és szalmát) is következetesen akarják kizárólagos villamosenergia-termelésre felhasználni, megengedhetetlenül kis hatásfokkal. Tudomásul kell(ene) venni, hogy az energiaigényeket mindenütt kiforrott, tömegesen alkalmazott, hatékony, gazdaságos és környezetkímélő berendezések és rendszerek elégítik ki.

A továbbiakban néhány olyan lehetőséget és feladatot emelünk ki, amelyekkel a megújulók jövőbeni hasznosítása segíthető, fokozható.

Vidékfejlesztés, településenergetika

A megújulók hasznosításában meghatározó szerepe van a vidéknek. A [2] tanulmány rögzítette, hogy a megújuló energiák decentralizált hasznosítása a vidékfejlesztés pillére. A vidék adja a megújulók hasznosításához szükséges nyersanyagot, és a megújulók láthatják el a vidéket energiával. A megújulók termelése, összegyűjtése, előkészítése és szállítása munkahelyeket teremt. A munkahelyteremtés révén az alvó vidék megelevenedik, az életteli vidék lakosai pedig fenntartják és eltartják családjukat, iskolájukat, intézményeiket és településüket. A megújuló energiák hasznosítása pozitív változást hozhat a vidék közgondolkodásában is. A legfontosabb az értékteremtő tevékenység megtalálása, ezt teheti lehetővé a megújuló energiák hasznosítása. Ez felveti, és szükségessé teszi az összefogást, a magángazdaságok olyan szövetkezését, amelyben az összefogás a közös érdekre, a közös értékteremtésre vonatkozik.

A félidőben megállapítható, hogy a megújulók hasznosítása nem fejlődött ütemesen, és nem lett a vidékfejlesztés szerves része. Talán magyarázatot ad, hogy a vidéket, a mezőgazdaságot a II. világháború óta a szerves fejlesztések folyamata helyett inkább a váratlan csapások sora érte (padlássöprés, kuláklista, téeszesítés, majd a már működő téeszek szétverése, licitálás, zsebszerződések stb.). A vidék érdekében sokan szólalnak meg. Például 2015 nyarán Csoóri Sándor, Nikházy Gábor és Pozsgai Imre felhívásban buzdították a gondolkodó-értelmiséget szerepvállalásra a magyar vidék védelme érdekében [7].

A megújuló energiák helyi hőforrásként történő hasznosítását a jövőben a települési önkormányzatok nagyobb energetikai szerepvállalása, a településenergetika [8] segítheti elő, mert

- a helyi (megújuló és hulladék) energiaforrások a településeken és a környezetükben tárhatók fel, és helyben kis szállítási költséggel használhatók fel,
- a helyi forrásokból történő hőellátás célszerű megoldását (egyedi vagy távhőellátás) a településeken lehet és kell megállapítani,
- az állam mellett az önkormányzat is alkalmas testület a közösségi érdekű energetikai döntések meghozatalára, sőt, a helyi ismeret a települési önkormányzatokat előtérbe helyezi a települési gazdaszerep betöltésére és a megfelelő döntésekre,
- az önkormányzat szervezésében alakítható ki és szabályozásával működtethető a település vállalkozóinak hatékony energiapiaca,

- a helyi hőellátáshoz kapcsolódó munkahelyteremtés a település fenntartásának és fejlesztésének egyik eszköze.

A település önkormányzata akkor képes a település hőellátásával kapcsolatos feladatokat ellátni, ha a település hőellátására megfelelő fejlesztési tervvel rendelkezik. A település hőellátás-fejlesztési tervének tartalmaznia kell:

- a fűtési és a hűtési hőigények alakulását, az energiatakarékosság és az új igények figyelembevételével,
- a hőellátás primerenergia-struktúráját, a meglévő földgáz-ellátás kiváltását, a megújuló és hulladék energiaforrások alkalmazását,
- a hőellátás energiahatékonyságának alakulását, a kapcsolt és a hőszivattyús hőtermelés figyelembevételével,
- a település adottságainak megfelelően az egyedi és a távhőellátás fejlesztését, amely a fűtés mellett számol a hűtés és a távhűtés indokoltságával és megoldásaival,
- a település-hőellátás gazdaságossági mutatóit, a fogyasztókat terhelő energiaköltségeket,
- a hőellátás-fejlesztés költségeit és azok fedezetét, saját forrásokkal, pályázatokkal és támogatásokkal.

Meggyőződésünk, hogy a településenergetika az energetikán, és elsősorban a hőellátáson belül folyamatosan előtérbe kerül. Szakszerűségét biztosítani és segíteni kell, indokolt a nagyobb települések energetikus-hálózatának átgondolt kialakítása.

Társadalmi szervezetek és köztestületek is intézményesen segíthetik a településenergetika fejlődését, ennek érdekében a MMK Energetikai Tagozata 2015. nyarán Településenergetika Szakosztályt alapított.

Munkahelyteremtés, hazai gyártás, innováció

A megújuló energiák hasznosítása és a települések helyi hőellátása széleskörű lehetőséget nyújt a munkahelyteremtésre. Ez nagy segítséget jelenthet a vidéknek, mert sok település számára létkérdés, egyrészt a nagy munkanélküliség, másrészt a vidéken fokozott nehézséget okozó új termelő munkahelyek létesítése miatt. A megújulók hasznosításával és a helyi hőellátással összefüggő munkák:

- A mezőgazdasági és erdészeti biomasszák kitermelése, települési hulladékok összegyűjtése, előkészítése, szárítása, szállítása és tárolása folyamatos munkahelyet biztosít. A tevékenységek egy része energiaigényes, arra kell törekedni, hogy a megújulókat minél kisebb energiaráfordítással (pl. kevés üzemanyaggal) állítsuk elő.
- A helyi hőellátás (hőtermelés, távhőellátás) kiépítése a létesítés időszakában, üzemeltetése pedig folyamatosan nyújt munkalehetőséget.
- A számításba jövő munkahelyek bizonyos szakképzettséget és szakismereteket igényelnek, de lehetőség van nem szakképzett munkaerő foglalkoztatására és megtartására is.

A megújuló energiák hasznosításának és a települések helyi hőellátásának tömeges berendezései jó lehetőséget nyújtanak a hazai gyártásra. Hazai gyártás indokolt pl.

- a hőszivattyúk esetén egyedi hőellátás és kis távhőrendszerek számára,
- a biomassza kazánok esetén háztartások és fűtőművek számára stb.

A hazai gyártást, pl. hőszivattyúk esetén, szakcikkek sokasága és számos tanulmány szorgalmazza [9, 10, 11, 12]. A hazai gyártás sikeres beindításához természetesen nem elég egy-egy tanulmány, vagy egyes települések akarata. Szükséges a szélesebb körű, országos összefogás, a vállalkozások együttműködése, a kutatás-fejlesztés megalapozása és támogatása.

A megújuló energiák hasznosítása és a helyi hőellátás (fűtés és hűtés) lehetőséget nyújt az innovációra. Az innováció kiterjed a megújuló energiák előkészítésére, átalakítására, a helyi hőellátás megoldásaira, a felsoroltak technológiai folyamataira, berendezéseire és rendszereire, illetve létesítésükre és üzemeltetésükre. A hazai helyzetképre gondolva, nem világmegváltó újításokra kellene törekedni, amelyek esetenként nagyon kockázatosak, hanem elsősorban széles körben alkalmazható, gazdaságos és energiahatékony megoldásokra.

A megújulók helyi hasznosításával kapcsolatos hazai gyártás és innováció nemcsak a települések érdeke, az energetikai innovációt a kormányzat is igyekszik kiemelten támogatni. A feladat tehát az, hogy a támogatás igény és a lehetőség oldala egymást kellően megismerje. Ennek érdekében szükséges a megújulók helyi hasznosítási lehetőségeinek feltárása és a fejlesztés kidolgozása, amiben meghatározó szerepe van az energetikai tervezésnek.

Az eltelt első félidőben a megújuló energiák hasznosítása és a helyi hőtermelés sem a munkahelyteremtésben, sem a hazai gyártásban és az innovációban nem hozott értékelhető előrelépést. Feladatunk ennek sürgetése és feltételeinek megteremtése.

Energetikai tervezés és fejlesztés

A megújulóenergia-hasznosítás és a kapcsolódó település-hőellátás fejlesztése szakszerű energetikai tervezést igényel. Az energetikai tervezés feladata kettős. Az első, előkészítő szakaszban a megújulók hasznosításának és a helyi hőellátásnak hatékony lehetőségeit kell feltárnia. A második szakaszban pedig a kiválasztott és támogatott megoldást kell szakszerűen megtervezni, úgy hogy az korszerű, energiahatékony és környezetkímélő legyen. A kívánatos innovációra mindkét tervezési szakaszban lehetőség nyílik, illetve az innováció alkalmazása elsősorban a tervezés lehetősége és feladata. A jelenlegi hazai energetikai tervezési rendszer ezeknek a követelménynek maradéktalanul nem felel meg, a kérdés az, hogyan lehet a fejlesztéshez szükséges szakszerű tervezést biztosítani.

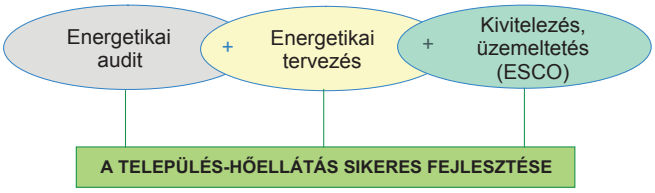
A szakszerű energetikai tervezés összetett feladat, amelyet csak megfelelő összetételű és létszámú mérnökcsoport képes elvégezni, szervezett csapatmunkával. Rendszerváltás után a korábban – a korabeli viszonyoknak megfelelő szinten – jól működő nagy energetikai tervezőirodák megszűntek, vagy zsugorodtak. Jelenleg a tervezőket a Magyar Mérnöki Kamara jogosítja és regisztrálja. Minősített tervezőink tehát vannak, ám a jogosultsággal rendelkezőket indokolt lenne valamilyen formában versenyképes tervezőcsapattá szervezni, de ez széles körben még nem valósult meg. Nagyobb településeknek, vagy több településnek együtt érdemes állandóan rendelkezésre álló, hatékonyan működő energetikai tervezőcsoportot biztosítani.

A legújabb energiahatékonysági EU-irányelvek és hazai rendelkezések előírják az energiarendszerek energetikai auditálását, természetesen a települések energiarendszerei esetén is. Az energiarendszerek energetikai auditálása szintén összetett feladat, amit szakszerűen csak jól felkészített és minősített csapat végezhet. Az auditálás és a tervezés egymástól független csapattevékenység, ám a fejlesztés érdekében egymást szervesen kiegészítik.

A megújuló alapú helyi hőellátás az auditálás és a tervezés után szakszerű kivitelezést és üzemeltetést igényel. Az energiahatékony kivitelezésre és üzemeltetésre különböző szolgáltató vállalkozások létrehozását javasolják, ilyenek pl. az ESCO rendszerek. A rendszerváltás után több hazai vállalkozás folytatott ESCO-tevékenységet,

ám a kiélezett versenyben többségük alulmaradt a tőkeerősebb külföldi tulajdonú vállalkozásokkal szemben. Az állami támogatás egyik célja lehet az ESCO-tevékenységet folytató hazai vállalkozások erősítése.

Az energetikai audit, az energetikai tervezés és kivitelezés, üzemeltetés kapcsolódásait a *8. ábra* szemlélteti. A szakszerű egymásra épülés és együttműködés biztosíthatja a megújuló-hasznosítás és település-hőellátás sikeres fejlesztését.



8. ábra. **Energiaaudit, tervezés és kivitelezés-üzemeltetés az energetikai fejlesztésekben**

A fejlesztés hajtóerői: elvárások, gazdaságosság és támogatás

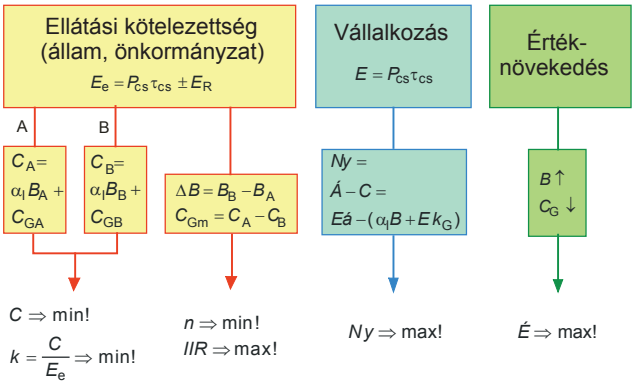
Az energetikai fejlesztések mozgások, amelyeket különböző hajtóerők idéznek elő. Ezek a fejlesztések összetettek, a hajtóerők is azok, a továbbiakban a fejlesztésre vonatkozó felhívásokra, a gazdaságosságra és a támogatásokra térünk ki.

Az energetikai fejlesztéseket több oldalról érik felhívások, döntő részük a fenntartható fejlődést, a klímavédelmet tartja szem előtt. Nemzetközi megállapodások mellett néhány legutóbbi, jelentős felhívásra utalunk:

- Ban Ki Mun: Az idei évnek a globális összefogás évének kell lennie.
- Ferenc pápa: Laudato si' enciklika, 2015. június.
- Áder János: Al Gore felhívásának támogatása a párizsi klímacsúcs sikeréért (www.elobolygo.hu).

És itt is utalunk az érzékelhető szélsőséges hazai álláspontokra (a megújulókkal minden jelenlegi és jövőbeni energetikai probléma megoldható lenne, illetve a megújulók használata felesleges, többletköltséget jelent), valamint a klímaváltozás folyamatainak és hatásainak eltérő megítélésére. A megjelenő felhívások és a hazai álláspontok összhangját nehéz megtalálni, de a jövőnk érdekében erre mindenképpen rákényszerülünk!

Országos és települési érdek, hogy a településeknek hosszútávú hőellátásfejlesztési tervük legyen. A komplex fejlesztési terv elkészítése szaktervezés feladata, jóváhagyó döntés a település önkormányzatának kompetenciája, és mindkettőben meghatározó szerepe van a gazdaságosságnak. A fejlesztés kapcsán a gazdaságosság összetett feladat, amiről a 9. ábra nyújt némi tájékoztatást.



9. ábra. **A fejlesztés gazdaságosságának elvei, célfüggvényei**

Ellátási kötelezettség (állam, önkormányzat) esetén a fejlesztés, a hőellátás indokoltságát gazdaságossági vizsgálattal kell alátámasztani, a legkedvezőbb, gazdaságos megoldást kell kiválasztani a lehetséges, az ellátás szempontjából egyenértékű megoldások (A és B) közül. A gazdasági vizsgálat célfüggvénye lehet vagy a költségek és fajlagos költségek (C, illetve k) minimuma, vagy a számításba vehető változatok közötti megtérülési idő (n) minimuma.

A vállalkozó természetesen a nyereségét (Ny) igyekszik maximálni. Ezt a költségek (C) minimalizálásával és az árbevétel (Á) növelésével (Á–C) tudja realizálni.

A fejlesztésnél gyakran számolhatunk azzal, hogy a fejlesztés eredményeként nő az érintett ingatlanok (épületek, lakótelepek, energiarendszerek) piaci értéke.

A költségek meghatározásánál mindig a beruházási, energia- és egyéb költségek kamatokkal számolt jelenértékét kell figyelembe venni. A megtérülésnél is a kamatokkal számolt dinamikus megtérülési idő a mérvadó.

A települések hőellátásának fejlesztése gyakorlatilag csak támogatással valósítható meg. A támogatásnak az indokolt fejlesztés megvalósítását, azaz a beruházási költségeket célszerű érintenie, és nem a folyamatosan jelentkező évi költségeket. A támogatásnak a megvalósító számára kell a hosszabb megtérülésű, ám még gazdaságos fejlesztések megtérülési idejét csökkenteni, de nem teheti „gazdaságossá” az eleve gazdaságtalan beruházásokat. Ennek megfelelően a támogatás indokolt intenzitása mintegy 40-60% lehet. A fejlesztések támogatására jelenleg is jelentős EU és hazai forrásokat fordítunk. A települések hőellátásának támogatása akkor hatékony, ha az nem ötletszerű, hanem tervszerű és kiszámítható, ha annak feltételeit és ütemezését az érintett települések ismerik.

A megújuló-hasznosítás és a helyi hőellátás fejlesztését csak hosszabb távon, az erre vonatkozó nemzetközi felhívásokat figyelembe véve, körültekintő gazdaságossági vizsgálatokra támaszkodva és indokolt mértékű támogatással lehet megvalósítani.

Irodalom

[1] Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Terv (NCsT), 2010.
[2] MTA: Megújuló energiák hasznosítása, 2010.
[3] MTA: Áttekintés Magyarország energiastratégiájáról, 2012.
[4] Hevesi Z. A.: A zöld energiamix. Mérnök Újság, 2015. jún.
[5] Kurunczi M.: Hogyan válthatjuk ki a gázt? Mérnök Újság, 2015. jún.
[6] Büki G.: Energiarendszerek jellemzői és auditálása. MMK Energetikai Szakkönyvek, 2013.
[7] Csoóri S., Nikházy G., Pozsgai I.: Értelmiségiek a vidékért! – 2015.
[8] Büki G., Metzing J., Orbán T.: Településenergetika – távhőellátás, távhűtés. MMK Energetikai Szakkönyvek, 2014.
[9] Komlós F., Fodor Z., Kapros Z., Vajda J., Vaszil I.: Hőszivattyús rendszerek. 2007.
[10] Komlós F.: Teremtsük meg a hőszivattyúipart! Polgári Szemle, 2015/1–3.
[11] Kujbus A.: Akcióterv az alacsony entalpiájú geotermikus energia felhasználásának népszerűsítésére 2020-ig Magyarországon, NKEK, 2012.
[12] Ádám B., Büki G., Maiyaleh T.: Geotermikus energia – hőszivattyúzás. MMK Energetikai Szakkönyvek, 2014.

A Magyar Tudományos Akadémia (Környezettudományi Elnöki Bizottsága és Energetikai Tudományos Bizottsága), a Magyar Mérnöki Kamara, a Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége és a Magyar Termálenergia Társaság által szervezett

„Települési hőellátás helyi energiával” című konferencia

ÁLLÁSFOGLALÁSA

Az energiapolitika a gazdaságpolitika szerves része, annak céljait és azok megvalósítását kell szolgálnia. A magyar gazdaságpolitika a maastrichti kritériumok teljesítése mellett elsősorban a hazai kis- és középvállalkozások bővítését, a foglalkoztatás növelését, sőt a teljes foglalkoztatás megvalósítását tűzte ki célul. E célokhoz illeszkedik a Nemzeti Energiastratégia 2030 és a hozzá kapcsolódó cselekvési tervek, köztük a Nemzeti Megújuló Energia Cselekvési Terv (NCsT).

Az NCsT 2020-ig 14,65%-os részarányt célzott meg a megújuló energiák mintegy 6 PJ/év növelésével. Most félidőben megállapíthatjuk, hogy elmaradásban vagyunk, **a tervezett cél elérése jelentős erőfeszítéseket kíván az érintettek részéről.** Az elmaradás fő oka, hogy **a megújuló energiák hasznosítása nem épült be szervesen sem a nemzetgazdaság fejlesztésébe, sem a társadalmi-közösségi gondolkodásba.**

Energiahordozó-váltási program szükséges a települések hőellátásában – hosszú távú, kormányzati ciklusokon átívelő politikai és társadalmi összefogással, támogatással. Érdemi növekedés csak több évtizedes, következetes fejlesztéssel érhető el!

Mit kell tenni?

1. A helyi energiaforrásokat hasznosítani. Az 1. táblázat a hőellátásba támogatással gazdaságosan és hatékonyan bevonható hazai energiaforrások lehetőségeit foglalja össze (indikatív számokkal és hibahatár nélkül).

2. Az épületek energiahatékonyságát növelni. A közel 4 millió ingatlan energetikai korszerűsítésével (utólagos hőszigetelés, fűtéskorszerűsítés) minimum 30%-kal csökkenthető az összes hőigény, ami országosan kb. 100 PJ/év mérséklődést jelent. A beruházási forrásszükséglet – átlagosan 3 millió Ft/ingatlan fajlagos értékkel – 12 ezer milliárd Ft, 40 éves program esetén 300 milliárd Ft/év, ami 150 milliárd Ft/év támogatási igényt jelent.

3. Kiszámítható, rugalmas, átlátható és szakmai alapokon nyugvó jogi hátteret, szabályozási, engedélyezési és támogatási környezetet kialakítani.

- Elengedhetetlen egy önálló megújulóenergia-törvény megalkotása, mely szabályozza a lokális energiaforrások helyét, szerepét, támogatásuk szabályait és hasznosítási módjait.
- A program sikerének előfeltétele a támogató, koherens, átlátható jogszabályi környezet megteremtése. Emellett magas színvonalú műszaki, gazdasági és környezeti szakmai szellemi háttér is kell úgy a helyi, mint a központi döntés-előkészítés, jogalkotás, engedélyezés és ellenőrzés területén.
- A program sikerességének alapfeltétele a szolgáltató állam megerősítése, a kiszámítható és folyamatos támogatás, a pályázatok szakmai, objektív értékelése, megvalósításuk szakszerű ellenőrzése, elszámoltatása, valamint az elő- és részfinanszírozás biztosítása (a kkv-k e nélkül esélytelenek a kivitelezésben!).
- A program sikerességéhez nélkülözhetetlen a transzparens, kiszámítható és fenntartható földgáz- és távhő-árszabályozás megteremtése. Ennek során össze kell hangolni a kormányzati, felhasználói és finanszírozói érdekeket.

4. A vissza nem térítendő támogatást növelni. A települések megújuló energiaforrásokra alapozott hőellátásának támogatását befektetésnek kell tekinteni a fosszilis energiaforrásokkal való takarékosság érdekében.

A jelenlegi hétéves költségvetési ciklusban az energiahatékonyság növelésére és a megújuló energiaforrások hasznosításának ösztönzésére az operatív programokból 740 milliárd Ft forráskerettel lehet számolni. Az ez irányú fejlesztések nagyobb „befektetést” igényelnének. Ezért, mind a jelenleg futó, mind a soron következő operatív programok forrásait célszerű lenne átcsoportosítani, s az így kapott, mindösszesen 3.150 milliárd Ft támogatással a fentebb javasolt 40 éves programot 30 évre rövidíteni.

5. Szakszerű döntés-előkészítés, tervezés és kivitelezés szükséges

- A megújuló energiaforrások hasznosítása és a hozzá kapcsolódó települési hőellátás-fejlesztés előre kidolgozott települési energiaellátási koncepciókat, szakszerű tervezést, kivitelezést és üzemeltetést igényel.
- A tervezés során figyelemmel kell lenni arra, hogy adott megújuló energiaforrás ne egy másik vagy más hatékony energiatermelési mód kihasználtságát csökkentse. Az adottságok és lehetőségek szem előtt tartásával mindig a legjobb hasznosítási módot kell előtérbe helyezni és azt rendeletekkel is támogatni.

1. táblázat

	Évente megvalósítható egység	40 év alatt megvalósítható egység	PJ/40 év	PJ/év	Költség (milliárd Ft/év)	Támogatás (milliárd Ft/év)
Földhő (hőszivattyúval)	10 000	400 000	48	1,200	47,5	23,75
Biomassza (hulladékkal)	20 000	800 000	93	2,325	54,1	27,05
Napenergia	25 000	1 000 000	10	0,250	50,0	25,00
Összesen:	55 000	2 200 000	151	3,775	151,6	75,80

Milyen eredmények érhetők el?

1. Új energiahordozó-struktúra = energiafüggetlenség és vidékmegtartó erő!

A kormányzati célkitűzésekkel összhangban a biomasszát és a háztartási szilárd hulladékot, a felszín-közeli és a nagy mélységből nyerhető földhőt (sekély- és mély-geotermiát), valamint a napenergiát a hőellátásban célszerű hasznosítani. Ehhez szükséges a nemzeti megújulóenergia-politikai célkitűzéséket szem előtt tartó, a települések helyi erőforrásaira alapozó **energiastratégia kidolgozása,** a végrehajtási operatív tervvel együtt.

A megújuló energiák helyi hőforrásként történő hasznosítását – az állami irányítás mellett/helyett – a jövőben a **települési önkormányzatok** nagyobb energetikai szerepvállalása, a településenergetika segítheti elő. A helyi (megújuló és hulladék) energiaforrások kis szállítási költséggel csak a településeken és a környezetükben érhetők el, állíthatók elő és használhatók fel. **Ezért a helyi forrásokból történő hőellátás célszerű megoldását (egyedi vagy távhőellátás) a településeken lehet és kell kialakítani.**

A helyi energiaforrások bevonásával a hazai hőellátás energiaszerkezete a hivatkozott program végére a következő részarányban prognosztizálható (zárójelben a jelenlegi értékek):

Geotermia:	18% (1,2%)
Napenergia:	4% (0,0%)
Biomassza:	47% (11,0%)
Földgáz:	31% (87,8%)

2. Települési energetikai fejlesztés = gazdaságfejlesztés!

A megújuló energiaforrások hasznosításához és a települések helyi forrásból történő hőellátásához szükséges nagyszámú berendezés jó lehetőséget nyújthat a külföldi piacokon is versenyképes innovatív termékek fejlesztésére és hazai gyártására. Ilyen termékek lehetnek például a termálvíz hőjének fokozott hasznosítását eredményező hőszivattyúk, a biomassza kazánok, a települési szilárd hulladékok energiatermelésre történő hasznosításának berendezései. A hazai energetikai fejlesztés és gyártás sikeres beindításához szükséges az országos összefogás, a kutatás- és gazdaságfejlesztési források ez irányú átcsoportosítása, a bemutatott **energiahatékonysági program elindítása és hosszú távú, kormányzati ciklusokon átívelő fenntartása.**

A fenti elvek alapján kidolgozásra kerülő országos energiahordozó-váltási program a mérnöki tervezés, az építőipar, az épületgépészet, az eszközgyártás, a primőr kertészet és a gyógyturizmus, valamint a regionális energiatermelés (biomassza) és szolgáltatás terén mintegy 1**50 ezer új munkahely** létesülését prognosztizálja, a **GDP fenntartható, 1,2-3% mértékű éves növekedése** mellett.

3. A megújuló energiahordozókkal kíméljük környezetünket, és növeljük az ellátásbiztonságot

- Különféle nemzetközi felhívások születnek a környezet- és a klímavédelem egyre hangsúlyosabb figyelembe vételére. A megújulók hasznosításán alapuló helyi hőellátás a károsanyagkibocsátás-csökkentési elvárásoknak maradéktalanul eleget tesz.
- Hazánk energiaellátási biztonsága elsősorban a saját energiaforrásainkra való támaszkodással valósulhat meg.

Mindezek előmozdítására az állásfoglalást aláíró szervezetek felelősséggel ajánlják a fentebb bemutatott elveket és célokat magába foglaló energiahatékonysági, valamint megújuló és helyi energiahasznosítási keretprogram kidolgozásában és megvalósításában való közreműködést.

Budapest, 2015. október 8.

Készítették a konferencia szervezői,
Büki Gergely professzor (1932-2015) közreműködésével.

Dr. Papp József hozzászólása

Gáz helyett a talajvíz hőjével lehetne fűteni!

Az MTA által szervezett „Települési hőellátás helyi energiával" című, 2015. október 8-án tartott rendkívül színvonalas és informatív konferencia rövid időn belül már a második, olyan esemény volt a Magyar Energia Szimpózium[1] után, amelyen a magyar mérnöktársadalom elitje fejezte ki elégedetlenségét azzal kapcsolatban, hogy az energetikában nem úgy mennek a dolgok, ahogy mehetnének és ahogy menni kellene. Amit a két konferencián − mint közgazdász − hallottam, azok egyértelműen alátámasztották azt, amit már korábban is gondoltam, hogy egy átgondolt energia-hatékony épület-felújítási program és a megújuló energia hasznosítása lenne képes a magyar gazdaságot egy fenntartható növekedési pályára állítani az összeszerelő-üzemekre alapozott illuzórikus növekedés helyett. Már hat éve, amikor „A Magyar gazdasági csoda"[2] c. könyvemet írtam, hangot adtam ennek. Abban az időben találkoztam a SOLANOVA Programmal[3] először és rögtön éreztem, hogy az a hetven százalék körüli energiaköltség-megtakarítás, amelyet a BME és a vele együttműködő kkv-k által kifejlesztett panel-felújítási technológia alkalmazásával el lehetne érni, micsoda multiplikátor szerepet tudna játszani a magyar gazdaság fellendítésében (ahogy a konferencián Nagy László is utalt erre előadásában a harmadik feles finanszírozást említve). Jellemző, hogy közben eltelt hat év és most tart ott a program, hogy az első mintaprojekt talán be tud indulni! A konferencián bemutatott grandiózus programot, a mellbevágó adatokat mielőbb közkinccsé kell tenni, hogy a nyilvánosság megismerje a tényleges helyzetet és ezzel a döntéshozók is szembesüljenek. Én magam is szeretnék minél hamarabb hivatkozni ezekre, hogy folytatni tudjam azt a gondolatsort, amit pár hete a Figyelő c. újságban[4] „Mi kell ahhoz, hogy a kkv-szektor legyen a növekedés motorja" címen megjelent írásomban kezdtem kibontani. Igen, az igazságot sokszor kell kimondani ahhoz, hogy az hasson is!

A geotermikus energia hasznosításában ráadásul nem csak teoretikusan, hanem személyesen is érintve vagyok, kétszeresen is. Régóta harcostársa vagyok egy kiváló magyar feltalálónak, Simon Lajosnak, akinek több találmányában is benne van a paradigmaváltás lehetősége. A PET palackok zsugorított visszagyűjtésén és újrahasznosítá-

[1] http://www.e-gepesz.hu/?action=show&id=15856

[2] Alexandra, 2010

[3] http://solanova.hu/

[4] 2015/38. sz.

sán alapuló GREENPET[5] rendszerében az az elv valósul meg, hogy a szemét nem hulladék, hanem értékes alapanyag. Ez tette lehetővé azt, hogy egy régebbi találmányát − az elemes szűrőket − elővegye, továbbfejlessze és reciklált PET-ből − olcsón − gyárthassa. Ezek a szűrők kipróbálás alatt vannak a Hun utcai panelház által megrendelt próba-kutakban. A társasház a távfűtésről 2009-ben vált le[6] és a két-kutas hőszivattyús rendszerre tért át.

A hőszivattyús rendszerek közül ez − a talajvíz hőjét hasznosító − a legjobb hatásfokú. A termelőkútból kiszivattyúzott víz hőjét a hőszivattyú elvonja és átadja a fűtőberendezésekben keringtetett víznek, a lehűlt vizet pedig a nyelőkútba továbbítja, ahonnan az visszasajtolódik a talajba. A rendszer HMV-t is tud szolgáltatni, de alkalmas arra is, hogy nyáron hűtsön, a hagyományos klímaberendezések működtetésének hátrányos következményei nélkül. A rendszer elterjedését azonban gátolja a kutak fúrásához alkalmazott elavult technológia. Szemben a szénhidrogén-kitermelő iparral, ahol nagyon sokat költöttek arra, hogy egyre hatékonyabb fúrási eljárásokat fejlesszenek ki, a vízgazdálkodásban eddig kevés figyelmet fordítottak erre. A kútfúrók a nyelőkutakat nem megfelelően képezik ki, aminek következtében a kiszivattyúzott talajvíz nem tud cirkulálni. Ez történt a Hun utcában is. A folyton elduguló kutak magas karbantartási igénye pedig drágává teszi a két-kutas hőszivattyús rendszerek működtetését, ezért kevés helyen alkalmazzák ezt a megoldást, holott Magyarország talajvízben a leggazdagabbak közé tartozik.

Ezt a problémát oldja meg a szabadalmaztatás alatt álló elemes szűrő-család. Ezek az öntisztító, mindkét irányban szűrni képes szűrők úgy vannak kiképezve, hogy a víz – minden más szűrőhöz képest – sokkal nagyobb nyitott felületen keresztül tud vertikálisan és horizontálisan is áramlani. ezért a visszasajtolódó víz a talaj hajszálcsöveit nem tömíti el. Ezek a szűrők a termelő kutaknál is alkalmazhatók: nem csupán a teljesítményüket képesek megnövelni, hanem lehetővé teszik a funkciók cseréjét is, azaz a termelő kutak is tudnak nyelni és fordítva. Ezzel a rendszer öntisztító képessége jelentősen, minden környezetvédelmi előírásnak eleget tevő módon növelhető.

Bár az elemes szűrő-család kifejlesztésére irányuló első szabadalom 1988-ban elnyerte a Pittsburgh-i szabadalmi expo bronzérmét, a szűrők mégsem terjedtek el, mivel az akkori kereslethez képest csak nagyon drágán lehetett gyártani őket. Ezért került sor a tekercselt szűrők kifejlesztésére, amiért 2012-ben a GWE-Budafilter Kft. az Innovációs Nagydíj pályázaton elnyerte a leginnovatívabb kisvállalkozás[7] címet. A tekercselt szűrők hatékonysága ugyan alatta marad az elemes szűrőkének, de sokkal magasabb, mint a piacon elterjedt más szűrőké, ami felkeltette a német GWE-Holding érdeklődését. A GWE-Budafilter[8] által gyártott tekercselt szűrőket Abu-Dhabiba exportálja, ahol a vízhiány enyhítésére a talajba sajtolt sótlanított tengervizet a GWE által fúrt, tekercselt szűrőkkel felszerelt kutak segítségével termelik ki.

Az elemes szűrők továbbfejlesztésének igénye 2014-ben merült fel, amikor a Budafilter 94 Kft. beindította a PET palackok zsugorított formában történő visszagyűjtésére és feldolgozására kifejlesztett GREENPET rendszerét. A reciklált PET-ből alacsony önköltséggel gyártható, 100 Celsius fokon is működőképes „Bástya" szűrőcsalád továbbfejlesztésére irányuló szabadalmi bejelentésre szeptember végén került sor. **Amennyiben ezeket a szűrőket az 1995-ben szabadalmaztatott kúteljárási – a szűrőelhelyezésre, kavicsolásra,**

talpi fúrásra vonatkozó – szabályok alapján használják, akkor a vízgazdálkodás is képes megközelíteni azt a szintet, ami eddig a szénhidrogén-kitermelés fúrási technológiájára volt csak jellemző.

2015. februárjában a Hun utcai társasház megrendelte egy próba nyelőkút fúrását, majd júliusban egy másikat is. Ezeket a próba-kutakat 125 mm-es, illetve 220 mm-es elemes szűrőkkel látták el. A próba-kutakkal kapcsolatos tapasztalatokról a társasház képviselője és üzemeltetője szeptember 3-án, egy nyilvános fórumon számoltak be a meghívott szakértőknek[9]: az elemes szűrők használata nem csak, hogy megakadályozza a kutak eldugulását, hanem jelentős mértékben csökkenti a karbantartási költségeket és a szivattyúk áramfogyasztását is. A szűrők a cirkuláltatott talajvizet folyamatosan tisztítják is, amelynek eredményeként a termelő kutak egyre tisztább vizet szivattyúznak a rendszerbe. Mivel a panelház a honvédség által használt területre épült, a kiszivattyúzott víz eddig erősen szennyezett volt. Ez egyértelmű bizonyítéka annak, hogy a próba-nyelőkutakból visszasajtolt víz kerül újra a rendszerbe. A kedvező tapasztalatok alapján a társasház már döntött arról, hogy a dugulás miatt leállított másik négy nyelőkutat is kicseréli. Valószínűleg a 220 mm-es szűrővel ellátott nyelőkútból kettő vagy három is elegendő lesz a korábbi négy helyett. A társasház tervbe vette azt, hogy a lakások hűtését is ezzel a rendszerrel oldja meg. Itt éreztem meg − a hatalmas, tízemeletes, 256 lakásos ház előtt állva − hogy milyen nagy realitása van egy „gáz helyett a föld hőjével fűtsünk" programnak és micsoda lehetőség lenne a talajvízben gazdag Magyarországon ennek a rendszernek az elterjesztése. Ráadásul ezek a szűrők a termálvíz visszasajtolásának problémáit is orvosolni tudják. Ezek a szűrők magukban hordozzák a paradigmaváltás lehetőségét a geotermikus energia felhasználásában. És ebben a konferencián elhangzottak még inkább megerősítettek.

A személyes érintettségemnek a másik oka az, hogy Csömörön, ahol élek, egy 42 telekből álló közműépítő közösség intéző bizottságának vagyok az elnöke. Most folyik a telkek közművesítése és felmerült, mivel a TIGÁZ túl magas árat kér a gázhálózat kiépítéséért, egy geotermikus közműhálózat előzetes kiépítésének az igénye. Az önkormányzat partner ebben, mivel fontos stratégiai célja az önkormányzati intézmények energiafelhasználásának racionalizálása és vizsgálat tárgyát képezi egy önkormányzati tulajdonú, megújuló energiára alapozott hőszolgáltató létesítésének és működtetésének a lehetősége. Ennek a modellezéséhez is sok adalékkal járult hozzá a tegnapi konferencia.

Köszönöm, hogy részt vehettem rajta.

Dr. Papp József
okl. közgazdász
jozsef.papp@uni-corvinus.hu

5 http://greenpetnet.com/

6 http://index.hu/belfold/budapest/2009/04/17/majustol_hoszivattyuval_futenek_a_hun_utcaban/

7 http://www.innovacio.hu/3b_hu_2011_dijazottak.php

8 http://www.gwe-budafilter.com/

9 http://komlosferenc.info/doc/KomlosFerencMESZ2015.pdf

Dr. Korényi Zoltán hozzászólása

Kedves Mihály!

Köszönöm, hogy elküldted a „Települések hőellátása helyi erőforrások felhasználásával” című konferencia meghívóját.

Gratulálok Neked és az egész Csapatnak a konferencia megszervezéséhez.

Külön gratulálok a Te előadásodhoz, amelyben komoly, számszerűsített adatokkal támasztod alá a mai helyzetet és a kívánatos állapotokat.

Ami a konferencia „ÁLLÁSFOGLALÁS” tervezetét illeti, azzal csak részben tudok egyetérteni.

Települések hőellátása helyi erőforrások felhasználásával − logikus, hasznos és kívánatos. Sok-sok szemponttal támasztható alá. Ez teljesen rendben van.

Azzal van gondom, ami nincs benne az állásfoglalásban. (Talán a dolgok jelen állása szerint még nem is lehet benne.)

- Ami az állásfoglalásban benne van: a települések hőellátása piacgazdasági alapon nem megoldható. A megoldáshoz sok-sok közösségi pénz (adófizetői, fogyasztói, EU támogatás stb.) szükséges.
- Ami az állásfoglalásban nincs benne: ha a közösségtől valamire extra pénzt kérünk (ha a közösség befektet), akkor ahhoz azt is be kell mutatni, hogy a közösségnek ebből − mondjuk 20 éves időhorizonton − mekkora lesz a nyeresége (Mennyire hatékony a közösség tőkebefektetése?). Konkrétan, pénzösszegekkel. Egy ilyen közösségi befektetés akkor hasznos, ha a GDP/GNI kategóriában az ország pénzügyi szaldója hosszú távon pozitív. A németek ezen elv szerint építették fel a megújuló energiaiparukat (amikor pl. a beruházáshoz szükséges eszközöket tőlük vásároljuk, akkor az ő munkahelyeiket tartjuk fent).

Hogyan kaphatunk a közösségi megtérülésre választ?

Három lépésben:

(1) Ágazati (al-ágazati) szinten, különböző változatokkal, fel kell állítani 20-30 évre szóló pénzáram (cash-flow) mérlegeket.

(2) A pénzáram táblázatok tételeit − mind a beruházási, mind az üzemeltetési szakaszra − két csoportba kell osztani:
A) az országból kimenő pénzáramok;
B) az országban maradó pénzbevételek (DuR = Domestic Use of Revenues).
Az export is a foglalkoztatottságot, ezzel az ország pénzállományát növeli.

(3) A pénzügyi mérlegek elemzéséből kiderül, hogy melyik megoldás ad az ország számára pozitív mérleget. Azt a megoldást, mely negatív pénzügyi szaldóval jár, törölni kell a támogatandók listájáról. Ebben az elemzésben kiemelt figyelmet kell fordítani a hazai hozzáadott érték termelésének (hazai mérnöki munka, fejlesztés, gyártás, beszállítás és hazai szolgáltatások (szoftver, karbantartás stb.)

Elvégzendő feladatok:

(1) Meg kell határozni az ország érdekeit. Részletesen, pontosan, számon kérhető módon.

(2) Fel kell állítani egy „kívánatos térképet”.

(3) EU jogi, hazai adottsági szempontokból meg kell alkotni egy „lehetséges térképet”.

(4) Sorrendbe kell állítani az energiaátalakítási, energiaszolgáltatási technológiákat − DuR alapon!

(5) Új iparpolitikát és tudománypolitikát kell megalkotni az energiaszolgáltatás eszközeinek, szolgáltatásainak előállításához (hozzáadott érték, munkahelyteremtés).

(6) Két szempont kell, hogy mindent eldöntő kritérium legyen: az országban maradó pénzállomány (DuR) és a magas szintű hazai hozzáadott érték (foglalkoztatottság).

Ez a fajta szemlélet szakítást jelent az elmúlt 25 esztendő nagyon sokszor lobbi érdekeket szolgáló „business as usual”, vagy „writing as usual” sehová sem vezető mentalitásával, amely az ország anyagi helyzetét egyre lejjebb viszi. (Itt egy alapvető jelentőségű közbevetés: Magyarország GDP-je 1936-ban 15%-ra volt lemaradva Ausztriához képest. Az akkori lemaradásunk az azóta eltelt 80 esztendőben lényegében folyamatosan nőtt. Leszakadásunk 2013-ban már 73%-ra nőtt !!! Itt tart országunk teljesítőképessége !?). Paradigmaváltásra van szükség. Ezeket az elveket magas állami szintekre is el kell juttatni és ott a radikálisan képviselni. Szerintem ennek a leszakadásnak a kezelését, a negatív tendencia folytatását csak egy 10 évre szóló, szakmailag alaposan kidolgozott, bátor, konzekvensen végrehajtott új iparpolitikai stratégiával (egy csak ezzel foglalkozó felelős ipari minisztériummal) lehet megtörni.

A nagyjelentőségű témacsokor további értelmezéséhez és mélységi megértéséhez ajánlok néhány anyagot:

- A Magyar Energetikai Társaság (MET) évekkel ezelőtt kezdett el foglalkozni ezzel a témával. Ki is dolgozta a szakmai állásfoglalások ilyen szemléletű elkészítésének a módszertanát. Honlapi elérhetősége: MET-AJÁNLÁSOK.
http://www.e-met.hu/index.php?action=show&id=3526
- Jómagam a MTA Erőművi Albizottsága részére készítettem egy ilyen szellemiségű anyagot.
- Szeptemberben a MESZ 2015 konferencián bemutattam a fent említett cash-flow számításnak egy erőművi modellszámítását - “Az energetika és a GDP/GNI kapcsolata” címmel.

Elérhető: http://www.e-met.hu/index.php?action=show&id=3529

Kedves Mihály!
Egy kicsit hosszabbra sikeredett, mint szándékoztam, de azt gondoltam, hogy életpályám hosszú nemzetközi és hazai (elméleti, gyakorlati beruházási és versenypiaci) tapasztalatait bűn lenne elhallgatni. Ajánlom a leírtakat továbbgondolásra. Személyes beszélgetéseinkből tudom, hogy Te is hasonlóan szemléled a világot.

Üdvözlettel:
Korényi Zoltán
okl. gépészmérnök
korenyi@energia.bme.hu

* * *

Kedves Zoltán!

Köszönöm hozzászólásodat és egyetértek vele. Hozzászólásodban megfogalmaztad annak lépéseit, amire az Állásfoglalás tervezetben utaltunk, és megerősítetted, hogy **„Szakszerű döntés-előkészítés, tervezés és kivitelezés szükséges”.**

Üdvözlettel
Kurunczi Mihály

IPPC prognózisok és a tényadatok

Reményi Károly
remenyi@energia.bme.hu

Az Éghajlat-változási Kormányközi Testületet (Intergovemental Panel on Climate Change) 1988-ban a Meteorológiai Világszervezet (WMO) és az ENSZ Környezetvédelmi Program (UNEP) keretében hozták létre, hogy a rendelkezésre álló tudományos információk, értékelések felhasználásával elemezzék az éghajlatváltozást befolyásoló tényezőket és az éghajlatváltozás hatásait. Cél volt a megoldást jelentő reális stratégiák megfogalmazása is. Az ENSZ 1988 december 6-i Közgyűlése az IPPC kezdeti feladataként, az éghajlatváltozás tudományának átfogó felülvizsgálatát tűzte ki, és előírta az állami hasznosításra javaslatok elkészítését. IPCC jelentések legyenek politikailag semlegesek.

*

The global warming has not been happening at anything like the rate predicted by the climate models, and is not at all likely to occur even at the much-reduced rate now predicted. There could be as little as 1 °C global warming this century, not the 3-4 °C predicted by the IPCC. Remarkably, even the IPCC's latest and much reduced near-term global-warming projections are also excessive. Unfortunately, the basic parameters − especially in global temperatures − can not be verified by suitable measurements. The reliability of the algorithm and the correlation coefficient is very low because the data are highly variable, the trend is flat. The climate research provides a lot of valuable information, but not for the entire global assessment of Earth's climate. Climate change is evidence. It is better to adapt to the adverse effects.

* * *

A tudományos bizonyítékok felhasználásával az 1990-ben készült első IPCC értékelő jelentés kiemelte a klímaváltozás kihívásaival kapcsolatosan a nemzetközi együttműködés szükségességét.

Döntő szerepet játszott az Egyesült Nemzetek Éghajlat-változási Keretegyezménye (UNFCCC), a létrehozásában. Ez volt a legfontosabb nemzetközi szerződés a globális felmelegedés csökkentésére, és az éghajlatváltozás következményeinek elhárítására. Azóta is az IPCC rendszeresen átfogó tudományos jelentéseket készít. Az IPCC 1995-ben készített második értékelő jelentésére alapozva elfogadták a Kiotói Jegyzőkönyvet 1997-ben, a harmadik értékelő jelentés 2001-ben, és a negyedik 2007-ben készült. Az ötödik értékelő jelentés (AR5) 2013 szeptembertől 2014 novemberig jelent meg, összefoglalva az egyértelmű és naprakész az éghajlatváltozással kapcsolatos jelenlegi tudományos ismereteket.

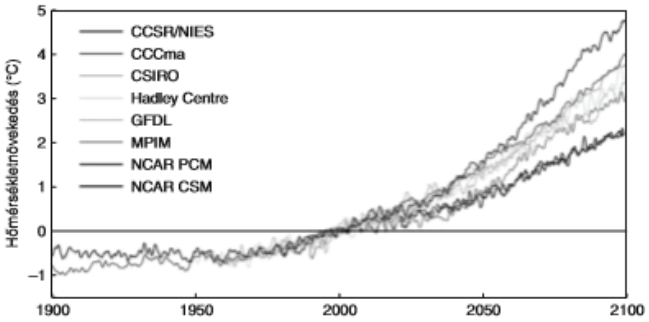
Az előbbiekben leírt tiszta célokkal kapcsolatban azonban a valóságos működésnél számos probléma adódott. A munkában a tudósokon kívül számos politikus, jogász, médiaszakember stb. vesz részt. A munkamódszer a konszenzus, és a javaslatoknál a döntő szót az államok képviselői mondják ki. Így tehát mind a tiszta szakmaiság, mind a függetlenség erősen megkérdőjelezhető. Később kiderült, hogy számos ellenőrizet nélküli szakmai megállapítás került a jelentésekbe, sőt „egyeztetett" eredmények is felhasználásra kerültek (Climate gate). Az egymást követő jelentésekben a korábbi adatok jelentős homogenizálása, korrigálása történt. Itt elsősorban ennek a mértéke kifogásolható, mert a tudomány fejődésével bizonyos megállapítások változása természetes folyamat.

A klímaváltozással kapcsolatosan előtérbe a „globális" felmelegedés került, amely egyesek szerint elsősorban az emberi tevékenység (az ún. üvegházgázok, különösen a szén-dioxid) következtében ért el jelentős értéket. Bár a továbbiakban az irodalomban is található adatokat használom, számos helyen hangot adtam annak, hogy a megfelelő elméleti és mérésekkel igazolható deffiniciók még várat-nak magukra. Elsősorban a globális hőmérséklet meghatározására nem található megfelelő ismertetés.

A továbbiakban a globális hőmérsékletváltozás mértékére adott IPPC prognózisok használhatóságával kapcsolatban bemutatjuk a ténylegesen megvalósult értékeket.

A klímamodelleknél az eredményekben jelentős, megengedhetetlen eltérések vannak. A legfontosabb„hajtóerő"a klímaváltozásnál a légkör felső határán lévő sugárzási energia egyensúlya. Az első hajtóerő a beeső napsugárzás szezonális és szélességi változása. A légkör és az óceánok cirkulációja alapvető hajtóereje annak, hogy a légkör felső határán lévő rövidhullámú (SW) és a hosszúhullámú (LW) sugárzás nem lesz egyensúlyban. A felhőeloszlás szintén jelentős módosító tényező. A különböző programok szórása különböző szcenárióknál 1,1–7,1 °C értékek közé esik.

A 23 modellel készített prognózisok értékeléséhez jó például szolgál a 23-ból kiválasztott nyolc világhírű intézetnek, azonos szcenárióra készített diagramja. A különbségek jelentősek (2010-re kb. 3 °C), ami a feladatot tekintve érthető, de konkrét nagysúlyú döntésekre nem látszik alkalmasnak.

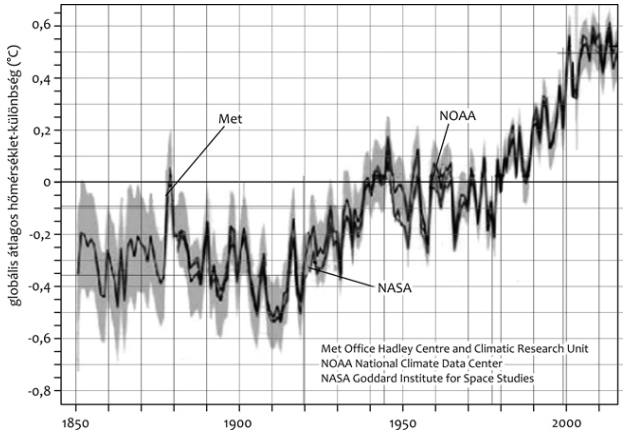


1. ábra. **Globális felmelegedési prognózisok**

A globális felmelegedés korlátozását mindenek előtt a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésével kívánják elérni. Ezek a próbálkozások ez ideig kevés sikert mutatnak. A csökkentés megkezdését világviszonylatban már 1995-ben tervezték. Ebből semmi nem lett, de az ennél nemzetközileg nagyobb súlyú Kyoto-i egyezmény óta sincs említésre méltó trendváltozás. Az 1997. december 11-én aláírt egyezmény óta eltelt években a szén-dioxid-tartalom kb. 355 ppm-ről közel 400 ppm-re változott.

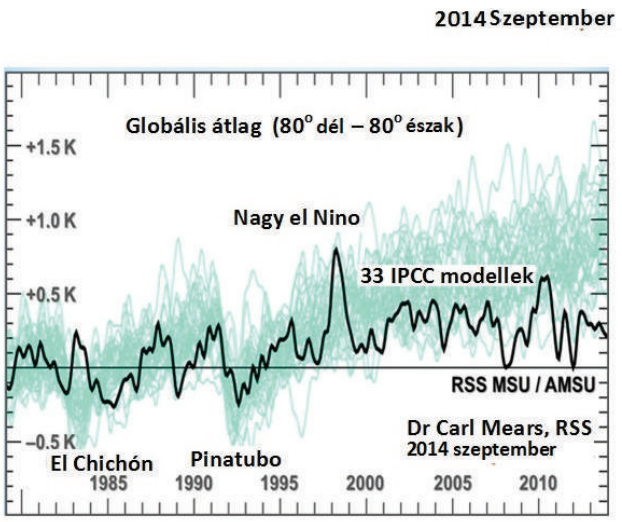
A nemzetközi irodalomban konszenzussal elfogadják, hogy az utóbbi százötven évben a globális hőmérséklet főleg a CO_2-kibocsátás következtében 0,74 °C-kal emelkedett. A NASA által közölt diagramból azonban ennél lényegesen figyelemreméltóbb jelenség olvasható ki. Amíg a szén-dioxid-koncentráció folyamatosan emelkedett, addig a ciklikusan változó hőmérséklet átlaga 30-40 évig átlagban azonos szinten maradt, majd viszonylag gyors (de nem nagy) növekedéssel új szinten állt be: állandó szint 1880–1920 között, majd 0,23 °C szintemel-

kedés, 1945–1975 között állandó szint, majd 0,45 °C szintemelkedés 1998-ig. Jelenleg az 1998-ban elkezdődött állandósági tartományban vagyunk (2. ábra). A szinteket részletesebben elemezve az egyes szakaszokban esetleg kisebb hőmérséklet-csökkenés is megállapítható. A teljes időszakban 1850–2015 között a légköri CO_2-koncentráció gyakorlatilag folyamatosan növekedett (Reményi, 2014).



2. ábra. **A Met (Meteorological Office, UK), a NASA és a NOAA hőmérsékletadatai az utóbbi 150 évre**

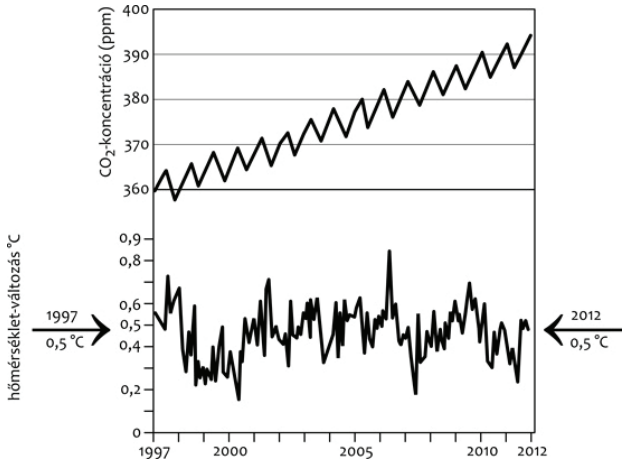
Részletesen foglalkozunk a médiát uraló és a közvéleményt is sok esetben félrevezető homogenizált, sokszor korrigált és újraelemzett IPCC prognózisokkal. A médiában irányított, sajátos módszerrel végzett elemzésekkel a „tudósok" 97%-os egyetértésére való hivatkozással szemben nagyon nagy számban igen jelentős kutatók (neves egyetemeken, pl. Harvard, MIT stb.) nem értenek egyet a „hivatalossá" tett globális felmelegedés ember általi szerepének eltúlzásával. Ezekre vonatkozó „szkeptikus" megbélyegzés is helytelen, mert inkább azok szkeptikusok, akik a természet feletti uralom lehetőségét vindikálják a maguk számára. A globális felmelegedés „kutatásában" már jelentős csalások is lelepleződtek (nem a tévedésekre gondolok). A „hivatalos" prognózis és a valóságos folyamat összevetését mutatja néhány ábra.



3. ábra. **Az IPCC 33 modelljének egymásra rajzolásával bemutatott, prognosztizált hőmérséklet-változási tartomány összehasonlítása az RSS MSU (Remote Sensing Systems Microwave Sounding Units) által az 1979–2014 között mért valóságos értékekkel. Átmeneti lehűlést 1983-ban az El Chichón, 1991-ben a Pinatubo vulkánok okoztak, és jelentős felmelegedési ugrás látható az El Niño tengeráram 1998-ban történt fellépésekor.**

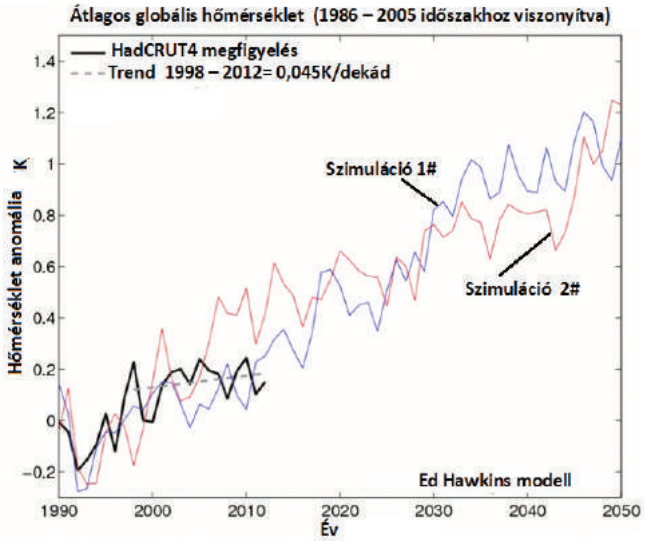
Bár az utóbbi 18 évben a szén-dioxid-koncentráció folyamatosan növekedett, a mérések szerint a globális hőmérséklet nem változott. Az IPCC legjobb modelljei (mintegy 98%-a) ezt nem jelezték, tehát rossz előrejelzést adtak. Azzal magyarázzák, hogy a hő a tengerek mélyebb rétegeibe áramlott, és ez nem jelezhető. Az óriási mennyiségű hiányzó hő nehezen magyarázható.

Korábban a szén-dioxid-koncentráció és a globális hőmérséklet között korrelációról beszéltek. Akkor sem indokolt bizonyosan korrelációról beszélni, ha pl. két jellemző valamely paraméter változásával hasonló jelleget mutat. A korreláció lineáris ok-okozati kapcsolatot feltételez. Ez a CO_2-koncentráció és a globális hőmérséklet változásakor nem igazolható. Számos időszakaszban tény az ellentétes irányú változás.



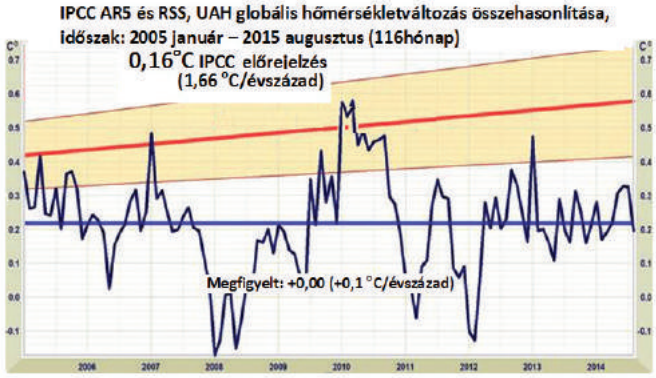
4. ábra. **Folyamatosan emelkedő CO_2 koncentrációnövekedés mellett az utóbbi 15 évben az átlaghőmérséklet nem növekedett**

A korábbi tényadatokat figyelembe véve elkészített prognózisokat mutató 5. ábrán látható, hogy az Ed Hawkins által készített szimulációk milyen jelentős eltéréssel képesek a valóság követésére.

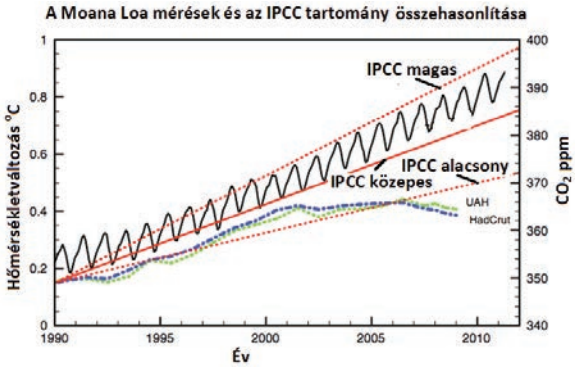


5. ábra. **A HadCRUT4 méréseinek Ed Hawkins szimulációjával való összehasonlítása**

A 2005 – 2010 évek évtizedére (kivetítve az évszázadra is) az IPPC által prognosztizált értéktől való konkrét eltérést mutatja a 6. ábra.



6. ábra. **Az IPCC 5. (AR5) Jelentésében prognosztizált adatoknak az RSS és UAH műholdaknak az alsó troposzférában a 2005–2014 évtizedben mért adataival való összehasonlítása**



7. ábra. **A Maona Loa állomáson mért szén-dioxidkoncentráció és az UAH és a HadCrut által mért hőmérsékleti értékek változása 1990-2012 időszakban**

Az IPCC által az 1990-ben jósolt felmelegedés a jelenleginek kétháromszorosa volt. Akkor 2,8 °C-t prognosztizált, a jelenlegi az ábra szerint 1,7 °C. Reális számításaim szerint 1 °C alatt marad a szén-dioxid koncentráció megkétszereződése esetén is. A légköri szén-dioxidkoncentráció megkétszereződés számításához a kibocsátás növekedésnek csak a felét kell számításba venni, mert a természet biológiai, kémiai és fizikai úton a többlet felét hasznosítja. A tényleges felmelegedési adatok nem haladják meg a természetes változások határait, tehát emberi beavatkozással nem lehetséges a változások módosítása sem.

A légköri paraméterek közül globális mértékben leginkább a szén-dioxidkoncentráció határozható meg (talán ezért választották a felmelegedés indoklásának legfontosabb tényezőjévé). A felmelegedéssel kapcsolatos, korábban szívesen hangoztatott korrelációról azonban már régen kiderült, hogy nem igazolható. A szén-dioxidkoncentrációnak a felmelegedéssel való szoros kapcsolatával azonban sokan nem hajlandók szakítani akárhány olyan időszakaszt lehet bemutatni, ahol a mérések ennek ellenkezőjét igazolják. Ilyen időszak (1990-2012) látható a 7. ábrán.

Összefoglalva, tehát tudomásul kell venni, hogy a szén-dioxidnak, a klímaváltozásban való szerepét, a korábbi tudományos elemzések is, de különösen a gazdasági és politikai érdekek jelentős befolyásával készült IPCC jelentések nagyon eltúlozták. Sajnálatos módon az alapparaméterek – különösen a globális hőmérséklet –, megfelelő mérésekkel nem ellenőrizhetők. A klímakutatások jelentős része sok értékes adatot szolgáltat, de nem alkalmasak a teljes Föld klímájának globális értékelésére. A klímaváltozás evidencia. Helyesebbek azok a törekvések, amelyek a kedvezőtlen hatásokhoz való alkalmazkodást segítik elő.

Irodalom

[1] Reményi K.: Energetika, CO_2, Felmelegedés, Akadémiai Kiadó, 2010, Budapest

[2] Reményi K. (2014): Globális lehűlés, globális felmelegedés, szén-dioxid, Magyar Tudomány, 9. sz., 1105-1116. o.

[3] It's official: no global warming for 18 years 1 month, Global Temperature Update By Christopher Monckton of Brenchley, wattsupwiththat.com/.../its-official-no-global-warming-f...

[4] 1990 IPCC predictions confront the data, http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature/

Új ETE szakosztály

"Egyetlen joule energia se vesszen kárba"

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület egykori Ipari Energiagazdálkodási Szakosztályának hagyományaira és jó tapasztalataira építve 2015.11.10-én megalakult az egyesület Energiahatékonysági Szakosztálya.

Az Energiahatékonysági Szakosztály célja az energiahatékonyságról szóló törvénnyel Magyarországon is előtérbe került, az egyesület által a kezdetektől fogva prioritásként kezelt energia-takarékosság, energia-tudatosság és energiahatékonyság terén a szakmai háttér fejlesztése.

A célkitűzések között szerepel az energetikai szakértői, auditori és tanúsítási tevékenység szakmai alapon való összefogása, az energiatudatos szemlélet szakmai berkeken belüli elterjesztése, az ehhez szükséges eszköztár kialakítása.

A szakosztály célja az auditálásokba való bekapcsolódás mellett a rendszeres szakmai konzultációk szervezése, a szakterületen dolgozó szervezetek, szakértők kooperációjának és tapasztalatcseréjének kialakítása.

A szakosztály tisztségviselői:

Titkár: Dr. Csűrök Tibor – jovoenergia@freemail.hu

Társelnökök:

Dr Nagy Zoltán – zoltan.nagy@linde-gas.com, – energiafogyasztói kapcsolatok

Porpáczy Dezső – mesz.iroda@freemail.hu, – államigazgatás és társadalmi kapcsolatok

Tompa Ferenc – tompaferenc3@gmail.com, – szakmai munkabizottságok

Dr. Zsebik Albin – zsebik@jomuti.hu, – energetikai auditok, 2016. évi ügyvezető,

A szakosztály korábbi és tervezett programjai:

Jön:

2016. január 12.

Előadók: felkérés alatt

A 2015. december 5-i eredmények és tapasztalatok. Hogyan tovább?

2016. március 9-10.

Tapasztalatcsere a Klímaváltozás – energiatudatosság – energiahatékonyság, KLENEN '16 szakmai konferencia keretében (www.klenen.eu).

Volt:

2015. november 10. **Alakuló ülés** és szakmai előadás

Dr. Zsebik Albin, okl. gépészmérnök

„Folyamatok energetikai auditálása – részletek az auditori vizsga felkészítő előadásából"

2015. október 27.

Papp Zsolt Csaba, az ÉMI-TÜV SÜD vezető auditora

„Energetikai audit, vagy ISO 50001 tanusítvány?"

2015. szeptember 8.

Szilágyi Sándor, vezető tervező

ISO 50001 Energiairányítási rendszer (EIR) helye az energetikai tervezésben?

2015. június 30.

Dr. Grabner Péter, MEKH, Energetikáért felelős elnökhelyettes

Az Energiahatékonysági törvényhez kapcsolódó feladatok, szervezeti kérdések.

Köteles Géza, energetikai auditor

A törvényhez kapcsolódó feladatok – ahogy azt az auditor látja

A Szakosztály munkája iránt érdeklődők jelentkezzenek a rendezvényekre a titkarsag@ete-net.hu címen, vagy keressék a tisztségviselőket.

Fenntartható, versenyképes megújuló energiaforrásokat integráló energiaellátás az Európai Unióban, különös tekintettel a napenergiára

Eperjesi Zoltán
szenior menedzser, zoltan.eperjesi@kpmg.hu

Jelen cikkemben az Európai Unió megújuló energiaforrások kihasználására vonatkozó politikájával foglalkozom, kiemelt hangsúlyt helyezve a napenergiára. Az Európai Beruházási Bank, az unió fejlesztési bankjaként beépítette finanszírozási stratégiájába a klímavédelemmel összefüggő uniós irányelveket. Az EIB mellett több közösségi szintű tőkealap is foglalkozik a megújuló energiaforrások felhasználására épülő beruházások finanszírozásával. A cikk második részében a spanyolországi Andasol naperőművet mutatom be.

*

In my current article I deal with the policy of the European Union concerning the usage of the renewable energy sources laying special emphasis on the solar energy. The European Investment Bank, the union's development bank integrated the EU's directives for climate protection into its financing strategy. Several capital funds at community level along with EIB deal with financing of renewable energy projects. The Andasol solar power station in Spain is presented in the second part of the article.

* * *

Energia hatékony Európa

Az Európai Tanács 2007. márciusi brüsszeli ülésén jóváhagyta az Energiaügyi cselekvési tervet, amelyben szigorú környezetvédelmi célkitűzéseket fogalmaztak meg. Az Európai Bizottság pedig 2008-ban fogadta el a Klíma Akció elnevezésű javaslatcsomagot az éghajlatváltozás terén szükséges intézkedésekről. Mindezek hatására az Európai Beruházási Bank is fokozta szerepvállalását a tiszta energiaforrások európai terjesztésében, valamint külön finanszírozási keretet nyitott kifejezetten az Európai Unión kívüli országok energetikai beruházásainak finanszírozására.

Az unió fejlesztési bankja is beépítette finanszírozási politikájába az Európai Bizottság 20/20/20 energetikai irányelveit, vagyis az üvegházhatású gázkibocsátás 20%-kal való csökkentését, a megújuló energiaforrások felhasználásának 20%-ra emelését, valamint az energiafelhasználás 20%-kal való csökkentését különböző energiahatékonysági intézkedéseken keresztül.

Az Európai Beruházási Bank az energetikai célú és éghajlatváltozással kapcsolatos hitelei révén támogatja a megújuló energiaforrások alkalmazását, az energiahatékonyság fokozását, az energetikai kutatást, fejlesztést és innovációt, az ellátásbiztonság és forrásdiverzifikáció megteremtését – például a transzeurópai energiahálózatok fejlesztése –, valamint a külső energiaforrások minél szélesebb körű helyettesítése által az elérhető közösségen belüli megújuló energiaforrások kihasználása révén.

Közösségi pénzintézetek és tőkealapok az energiahatékonyság és a megújuló energiaforrások alkalmazásának szolgálatában

Az Európai Beruházási Bank elsősorban a gazdasági hasznosítás fázisában lévő érett technológiák (szárazföldi szélerőmű-parkok, vízi erőművek, geotermikus és szilárdbiomassza-erőművek stb.) finanszírozásában vesz részt, de támogatja a korai megvalósítási szakaszban lévő projekteket (fotoelektromos rendszerek, napenergiát hasznosító rendszerek és második generációs bio üzemanyag gyártási technológiák stb.) is.

A bank 2012-ben 17,3 milliárd EUR összeget fordított energetikai beruházásokra, amelyekből 30% esett az energiahatékonyság ösztönzésével, illetve a megújuló erőforrásokkal kapcsolatos beruházásokra – főként a kapcsolt hő- és energiatermelési, illetve távfűtés és távhűtés fejlesztésekre – az Európai Unió országaiban. (EIB Éves Jelentés [2012]).

Az Európai Unió fejlesztési bankján kívül számos pénzügyi alap segíti elő az energiahatékonysági és megújuló energiaforrásokon alapuló projektek megvalósulását. Ilyen alap például az Európai Energiahatékonysági Alap (European Energy Efficiency Fund), a Marguerite Alap, vagy a Globális Energiahatékonysági és Megújuló Energia Alap (Global Energy Efficiency and Renewable Fund). Az Európai Energiahatékonysági Alap energia megtakarítási- és hatékonysági projekteket finanszíroz. A finanszírozások kiterjednek a közintézmények és magánépületek megújuló energiaforrás alkalmazásaira, a helyi megújuló energiaforrások kapcsolt hő- és villamosenergia-termelésére, a távfűtés és távhűtés korszerűsítésére, valamint az elosztóvezetékek felújítására. Az alap mindemellett finanszírozza még a tiszta városi közlekedési projekteket is (Net 1). Az Európai Bizottság által elindított Marguerita Alap szintén energetikai, klímavédelmi és közlekedési projektek finanszírozásával foglalkozik. A Globális Energiahatékonysági és Megújuló Energia Alapot 2006-ban az Európai Bizottság kezdeményezésére hozták létre. Az alap munkáját nagyban segíti az Európai Beruházási Bank és Alap sokéves klímavédelmi projektekkel összefüggő komplex tapasztalata. Ez a globális tőkealap alapok alapjaként működik, és olyan magán tőkealapokba fektet be, amelyek megújuló energia és energiahatékonysági projekteket finanszíroznak a fejlődő és az átalakuló gazdaságokban. Az alap olyan beruházásokat vesz célba, amelyek pozitív környezetvédelmi és fejlesztési hatással bírnak (Net 2).

A napenergia-hasznosítás földrajzi elterjedtsége

Naperőművet a Föld azon térségeiben érdemes csak építeni, ahol a napenergia átlagos sűrűsége kellően nagy ahhoz, hogy a magas beruházási költségű létesítményt jó hatásfokkal és gazdaságosan lehessen üzemeltetni. Európában ez a feltétel elsősorban a mediterrán térségekben teljesül, ezért például Spanyolország kiváló terepet jelent, de az utóbbi években komoly érdeklődést mutattak a technológia iránt többek között olyan országok is, mint Izrael, Egyiptom, Algéria, Franciaország és Dél-Afrika. A napelemekre legalább 25 év a garancia, és a napenergia hasznosításának, így a napelemeknek is rendkívül ígéretes a jövőjük, hiszen a Nap mindössze 1,5 nap alatt sugározza a Földre azt az energiamennyiséget, amely a Föld összes kitermelhető kőolajkészletében rejlik. Az emberiség éves energiafogyasztása egyébként megfelel a Nap 1 óra alatti kibocsátásának (The parabolic trough power plants Andasol 1 to 3; 2008).

Egy-egy naperőmű az atomerőművekkel összevetve csak tizedannyi áram előállítására képes, a Greenpeace előrejelzése szerint azonban 2025-ig még ennek ellenére is csaknem 37 ezer megawattra

rúghat a naperőművek összteljesítménye. A kereslet jelentősen megélénkül, különösen Spanyolországban, Kínában és az Amerikai Egyesült Államokban, sőt ez utóbbiban már törvény is született arról, hogy 2020-ig a villamos energia 30%-át megújuló energiából kell előállítani. (Épül a világ legnagyobb… 2004)

A napenergia hasznosítása máris nagy üzlet, a jövő azonban nagyrészt attól függően alakul majd, hogy hol, milyen törvények születnek a szoláris erőművek támogatására. Az Amerikai Egyesült Államokban már 20 éve építenek parabolabarázdás kollektorokból álló erőműveket, Kínában pedig 2020-ig építik meg a német cég kivitelezésében az első naperőműveket, amelyeknek összteljesítménye 1000 megawatt lesz. Egyes nagy cégek – például a Solar Millenium – még Afrikában is hasznosítani kívánja a megújuló energiaforrást. (Épül a világ legnagyobb… [2006])

Algéria, Marokkó és Egyiptom is érintett a parabolavályús erőművek létesítésében. Az ott épülő erőművek a maguk 25-30 megawattos teljesítményükkel a hagyományos erőművekben felhasznált üzemanyag mennyiségét kívánják csökkenteni.

Létrejött a Földközi tengeri Megújuló Energia Együttműködés (Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation, TREC) kezdeményezés is annak érdekében, hogy a Földközi-tengeren keresztül épüljön meg egy olyan villamosenergia-hálózat, amelybe ezek a naperőművek az általuk termelt áramot betáplálhatják. A Német Repülési és Űrrepülési Központ (DLR) szerint a sivatagok felületének akár 0,3%-a is képes annyi energiát szolgáltatni, ami elég lenne a Földközi-tenger partján fekvő országok és Európa ellátására. A Római Klub véleménye szerint az észak-afrikai és a közel-keleti napenergia projektek az Európai Uniós számára is számottevő kedvező hatással járnak. (Felszálló ágban… [2008])

A parabolacsatornás naperőművek technológiája

A parabolacsatornás naperőművek technológiájának alapjait még az 1980-as évek elején fejlesztették ki az Amerikai Egyesült Államokban. Ebből a típusból 1984-1991 között a Luz International 9 darab, összesen 354 megawatt teljesítőképességű erőművet épített Kaliforniában, majd másfél évtizedes szünet után 2007-ben tűnt fel újra a Nevada Solar One naperőmű projektben. Ezért van szükség a napenergia koncentrálására, amire többek között a napteknő (vályú) alkalmazható. A napteknőben elhelyezett nagyméretű, parabola ívűre hajlított tükör segítségével úgy fókuszálják a napfényt, hogy a beérkező napsugárzás a tükörfelületen visszaverődik és a parabola gyújtóvonalába koncentrálódik. A gyújtóvonalban egy vezeték fut, amely elnyeli és hővé alakítja az összegyűjtött napsugárzást, majd a keletkezett hőt a benne áramló folyadéknak adja tovább. (Tizennyolcezer napteknő [2007])

A kollektorok energiahasznosítása akkor a legkedvezőbb, ha a felületüket minél teljesebben éri a fény, ezért a teknők egy automatikus napkövető-mechanizmus segítségével követik a Nap járását. A hőt elnyelő vezeték speciális kialakítású: a belső rozsdamentes acélcsövet fényelnyelő bevonat borítja – ami a napsugarak akár 95%-át is képes elnyelni –, és ezt veszi körbe egy másik cső, a kettő közötti térben jó szigetelést biztosító vákuumot képezve.

A technológia sok tekintetben hasonló a hagyományos erőművekéhez, de attól eltérően itt a fémcsőben keringő folyadékot hevíti fel a Nap. A specialitás tehát abban nyilvánul meg, hogy a felforrósított folyadék termel gőzt egy gőzfejlesztő berendezésben, amit felhasználnak annak a gőzturbinának a meghajtására, amely a hőenergiából mechanikai energiát termel, és végül a turbina által működtetett generátor állítja elő a hálózatba betáplálható villamos energiát.

A Solar Millenium AG spanyolországi Andasol naperőmű projektjének bemutatása

A napenergia felhasználása tekintetében a napelemek két fontos piaca, Németország és Japán mellett további – megfelelő állami támogatási programokat elindító – országok jelentősége is egyre nő. Mivel azonban a napelemeket gyártó ipar szilícium-ellátottsága továbbra sem elég bőséges, az Amerikai Egyesült Államok naperőmű építésébe fogott, Spanyolország pedig üzembe helyezte az Andasol 1 2, és 3 erőművet. Az ilyen erőművek jelentősége a jövő energiaellátása szempontjából kétségkívül egyre növekszik.

Az Andasol erőműben próbálnak ki először egy olyan új hőtároló rendszert, amelynek segítségével az erőmű áramtermelési kapacitása a téli hónapokban napi 12 órát meghaladó időtartamra, nyáron akár napi 24 órára is kitolható. (EIB Éves Jelentés, 2006)

Az erlangeni székhelyű német Solar Millenium AG a világ számos táján kezdett erőmű-építési projektekbe, illetve számos terület vonatkozásában vannak ilyen jellegű tervei. A cég még Afrikát is célba vette, számos afrikai pályázatra adta be jelentkezését.

A Solar Millennium AG a dél-spanyolországi Andalúziában építette meg mintegy 300 millió eurós beruházás keretében a földrész első, parabolabarázdás napkollektorokból álló erőművét, az Andasol 1-et, amely a maga 510 ezer négyzetméteres kollektor-felületével a világ legnagyobb naperőműve, továbbá itt építette meg az Andasol 2-t és az Andasol 3-at is. A granadai Guadix fennsíkon elhelyezkedő három naperőmű a világ legnagyobb naperőművének számít, amely megépítése 900 millió EUR összegbe került. Mindhárom erőmű 150 GWh villamosenergiát bocsát ki évente külön-külön. A széntüzelésű erőművekkel való összehasonlításban megállapítható, hogy ezek a naperőművek éves szinten 150 000 tonnával csökkentik a szén-dioxid kibocsátást. A naperőmű 500 000 spanyol háztartást lát el villamos energiával, és jelentős mértékben hozzájárul a nyári megugró villamosenergia-szükségletek kielégítéséhez. A spanyol energiaellátó cég, az Endesa vásárolja meg a villamos energiát az Andasol naperőműtől. A spanyol energiatörvény értelmében az erőművek maximum 50 MW teljesítményig táplálhatják be a villamos energiát a villamosenergia-rendszerbe. Spanyolország Németországhoz hasonlóan támogatott áron veszi át a megújuló energiaforrásokból termelt villamos energiát az erőművektől, különösen érvényes ez a napenergiára. Spanyolország az állami támogatás miatt a naperőmű beruházások szempontjából különösen vonzó ország. Németországgal ellentétben a naperőmű üzemeltetője két tarifa közül választhat. Választhatja a fix villamos energia átvételi tarifát egész éven keresztül, vagy pedig a mindenkori piaci áron (spot vagy future). Az üzemeltető a piaci áron történő értékesítés mellett is jogosult az állami támogatásra. Az erőművek napkollektorokból, tároló rendszerekből, hőcserélőkből, gőzturbinákból, generátorokból és kondenzátorokból állnak. A naperőmű minden egysége 90 km hosszú abszorpciós vezetékből és hajlított tükrökből áll, amelyek együtt alkotják a napkollektort.

A naperőmű a 28 500 tonna sót tartalmazó hőtárolója révén nyáron akár 24 órás folyamatos üzemre is képes. A gőzturbina-beszállító a német Siemens volt, amely egyébként más spanyolországi projekteknek is készített erőműelemeket, például az ACS nevű spanyol építővállalat számára szélturbinákat szállított. (Nevada Solar One [2007])

Az Andasol 1 elektromos teljesítménye 50 megawatt, és a felfogott napsugarakból állítja elő a villamos energiát. Évi 179 gigawatt villamosenergia-termelése 200 ezer ember ellátását biztosítja. (Épül a világ legnagyobb… [2006])

A napsugárzásból hagyományosan szilíciumlapok segítségével közvetlenül állítanak elő elektromos áramot, a spanyol Sierra Nevada

hegységben megépült Andasol 1 naperőmű azonban más elven működik. Egy 510 ezer négyzetméteres tükörrel gyűjti be és fókuszálja a napsugarakat, majd azokat karvastagságú csövekre irányítja. Ezekben a csövekben a napenergia által 400 fokosra melegített különleges anyag kering, és ezzel a hővel már a hagyományos erőművekhez hasonlóan állítják elő a turbinák meghajtásához szükséges vízgőzt. (Olajat hevítenek napsugarakkal [2006])

Az Andasol 1 naperőmű napkollektorai
Forrás: The parabolic trough power plants Andasol 1 to 3; 2008

A naperőművel történő villamosenergia-termelés egyelőre állami támogatást igényel. A technológia fejlődésével azonban elképzelhető, hogy a támogatás nélkül is versenyképesek lesznek a naperőművek a hagyományos fosszilis tüzelésű erőművekkel szemben (The parabolic trough power plants Andasol 1 to 3; 2008). A tanulmány szerint a beépített naperőmű kapacitások 2020-ra elérik a 20 000 MWh teljesítményt.

Az Európai Beruházási Bank 2006-ban mintegy 70 millió euró kölcsönt nyújtott az Andasol 1 erőmű megépítéséhez, amely az Európai Unió első nagyszabású kereskedelmi hasznosítású naperőműve, és amely elősegítheti az új generációs koncentrált naperőműi technológia minél szélesebb körű elterjedését az Európai Unió országaiban.

A naperőműi áramfejlesztők fosszilis üzemanyagot használó erőművek termelését váltják ki, ezáltal hozzájárulnak az éghajlatváltozás elleni küzdelem sikerességéhez. Az sem elhanyagolható szempont továbbá, hogy az erőmű építése 2-2,5 éven keresztül hozzávetőlegesen 500 embernek adott munkalehetőséget, és a működtetés során is mintegy 40 ember foglalkoztatását oldja meg. (Andasol – The World's Largest… [2008])

Külön kiemelendő, hogy az Európai Beruházási Bank által nyújtott hitel 2006-ban elnyerte „a legjobb projektfinanszírozási ügylet" díját az „év legjobb megújuló energia finanszírozási ügylete" kategóriában. (EIB Éves Jelentés [2006])

A diverzifikált energia portfolió keretében a müncheni városüzemeltető a szélenergián kívül egyéb más megújuló energiaforrás, így a nap- és vízienergia felhasználása iránt is elkötelezett. A cég az Andalúziában található Andasol elnevezésű naperőmű projektben is részesedést szerzett. A 2012-ben üzembe helyezett naperőmű két négyzetkilométer területen 200 000 parabolatükörrel működik, és új korszakot nyitott a napenergiából származó villamosenergia-termelés és tárolás területén. Az óriási termikus só tárolóknak köszönhetően az Andasol naperőmű még napnyugta után is megbízhatóan képes villamosenergia-termelésre és a hálózatba történő betáplálásra. A 165 millió kilowatt óra éves teljesítményű naperőmű működése következtében éves szinten 150 ezer tonna szén-dioxid kibocsátást lehet megtakarítani. A müncheni közműcég tulajdonosi részesedésén keresztül harmincháromezer müncheni háztartást tud ellátni villamos energiával (Stadtwerke München, Éves Jelentés; 2012).

Következtetések

A jelen cikkemmel arra szeretnék rávilágítani, hogy az Európai Unió valóban komolyan veszi a környezetvédelmi szempontból jóval kedvezőbb megújuló energiaforrások felhasználását. Az energia hatékony technológiák terjesztése, valamint a fosszilis energiaforrások visszaszorítása elengedhetetlen a globális klímavédelem szempontjából, viszont az Európai Uniónak szem előtt kell tartani, hogy az externáliák költségeinek viseléséből a világ valamennyi meghatározó gazdasági integrációjának ki kell vennie a részét. Ellenkező esetben az unió versenyhátrányba kerül a többi jelentős gazdasági tömörüléssel szemben. Természetesen a megújuló energiaforrások kiemelt szerepet játszanak az energiaforrások diverzifikációja szempontjából is. Az energia import csökkentése stratégiai jelentőséggel bír az egyes nemzetgazdaságok szempontjából. A megújuló energiaforrásokra vonatkozó technológiák, innovációk fejlesztésében, bevezetésében a fejlett uniós magállamok járnak az élen. A gazdasági felzárkóztatásban érdekelt közép-kelet európai tagállamok számára jelentős többletterhet jelent a megújuló energiatermelés támogatásának előteremtése.

Felhasznált irodalom

[1] Andasol Solar Thermal Power Project (http://www.eib.org/projects/loans/2004/20040358.htm)

[2] Andasol – The World's Largest Solar Thermal Power Plant Project Development in Andalucia (Spain). 2008. april (http://www.solarmillennium.de/upload/Download/Technologie/eng/Andasol1-3engl.pdf)

[3] EIB, Európai Beruházási Bank, Éves Jelentés, 2006.

[4] Épül a világ legnagyobb naperőműve; http://www.infovilag.hu 2006.

[5] Felszálló ágban a nemzetközi üvegipar – A szolártechnikáé a jövő. Magyar Üvegipari Szövetség Közhasznú Egyesület, 2008 (http://www.uvegszovetseg.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=39&Itemid=51)

[6] Net 1: http://www.eeef.eu/

[7] Net 2: www.geeref.com

[8] Nevada Solar One. Kék Bolygó, 2007. július 2. (http://kekbolygo.blog.hu/2007/07/12/nevada_solar_one)

[9] Olajat hevítenek napsugarakkal. Magyar Rádió, 2006. augusztus 9. (http://www.zoldtech.hu/cikkek/20060809napolaj)

[10] Olajat hevítenek napsugarakkal. Rednews, 2006. augusztus 9. (http://www.rednews.hu/index.php?option=com_content&task=view&id=868&Itemid=94)

[11] The parabolic trough power plants Andasol 1 to 3; Solar Millennium AG. 2008

[12] Thermal Solar Plant automated by ABB Spain. ABB sajtóközlemény (http://www02.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/b5aeeab2db80bd9fc1257305004da942/$FILE/Andasol%20Press%20Release%20PowerGen.pdf)

[13] Tizennyolcezer napteknő. KápátInfo, 2007. július 10. (http://www.karpatinfo.net/art_print45315.html)

Európai energetikai körkép

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

Az EU rendkívül ambiciózus célt fogalmazott meg az emiszsziók csökkentésére. Mi indokolja ezt? – teszi fel a kérdést a szerző és kifejti véleményét. Többek között megállapítja, hogy „A legnagyobb baj az Energiewendével, hogy nem szakmai alapon jött létre, hanem politikai természetű, voluntarista döntés volt. A 2050-ig tartó időszakban a fosszilis energiáknak, az atomenergiának és a megújuló energiáknak minél inkább piaci viszonyok között együtt kell élniük, és mindent meg kell tenni eközben az energiahatékonyság fejlesztésére, mely takarékos és hatásos választ tud adni a klímaváltozás kihívásaira."

*

The EU has set a very ambitious target to reduce emissions. What is the reason for this?, asks the author and elaborates on his opinion. He states among others that „The key problem with Energiewende is that it was not created on a professional basis but was a political, voluntary decision. In the period until 2050 fossil energy, nuclear energy and renewable energy must co-exist in the market and everything should be done to improve energy efficiency, which can provide a cost-effective and useful response to the challenges of climate change."

* * *

Az EU energia helyzete és politikája

A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) a Világ Energia Kitekintés (WEO-2014) című tanulmányában ismerteti, hogy a legvalószínűbb forgatókönyv, az „Új politikák" szerint hogyan alakul az energiafogyasztás növekedés 2011-től 2035-ig a világ különböző régióiban. Eszerint az egyes főbb régiókban a negyedszázados időszakban a fogyasztás növekedés a következő lesz: EU 0%, Japán 0%, US 1%, Közép-Kelet 10%, Dél-Kelet Ázsia 11%, India 18%, Kína 31%. Hosszabb ideje ismert már, hogy a fejlett országokban lehetséges a gazdasági növekedés energiafogyasztás növekedés nélkül is. De más és más okok vannak a 0-1%-os fogyasztás növekedés mögött. Az EU-ban és Japánban az erős energiahatékonysági tevékenység, a nehézipar kitelepítése, továbbá a gyenge, stagnáló növekedés és az elöregedő lakosság az ok. Az USA-ban, ahol az egy főre jutó fogyasztás rendkívül magas, új szemléletet és szabványokat vezettek be a járműiparban, a háztartási gépeknél, a köz- és lakossági épületeknél, és így képesek ellensúlyozni a GDP gyors, 3% körüli növekedését.

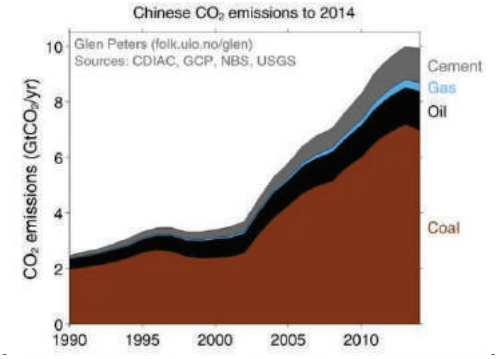
Az EU-ban megfogalmazott legfőbb energetikai EU célok:

EU: 2030-ig a ÜHG emissziókat 40%-kal kell csökkenteni, a megújuló energiák részarányát és az energiahatékonyságot 27%-kal kell növelni. Látjuk, az EU rendkívül ambiciózus célt fogalmazott meg az emissziók csökkentésére. Mi indokolja ezt? Tekintsük át az EU emiszsziónak globális helyzetét (lásd 1. táblázat).

1. táblázat. Globális CO_2 emissziók %-ban – a legnagyobb kibocsátók

Kína	29%
USA	15%
EU	10%
India	7%
Oroszország	5,3%
Japán	3,7%

Kína, az USA és az EU együtt a kibocsátások 54%-át, a felsorolt hat legnagyobb kibocsátó együtt 70%-ot képviselnek. Az EU, a maga 40%-os kibocsátás csökkentő célkitűzésével (az 1990-es bázisévhez képest) jelentős erőfeszítést tesz, de ez a globális kibocsátásokat csak 4%-kal csökkenti. Ha az EU mai kibocsátási szintjéhez viszonyítunk, ez az érték inkább 2% körül van. Ez pedig kevés ahhoz, hogy az EU érdemben csökkentse a globális kibocsátásokat, mert pl. Kína az elmúlt másfél évtizedben háromszorosára növelte kibocsátásait (lásd 1. ábra), és hasonló trendet mutat India és egy sor más fejlődő ország is. Ha az EU nullára csökkentené kibocsátásait, a rossz, növekvő kibocsátási trend akkor is folytatódna. Vagyis nincs érdemi eredménye az EU rendkívüli környezetvédelmi erőfeszítéseinek.



1. ábra. **A kínai CO_2 kibocsátások 1990-2014 között**

Jelenleg Kína égeti el a világ széntermelésének a felét. A klímaváltozásban eredményt nem a szuper-hatékony európai gazdag országok további szorongatásával lehet elérni, hanem Kínát, Indiát, az USA-t és a többi nagy fejlő országot kellene rávenni a dekarbonizációra.

A nemzetközi gázpiac helyzete, 2014

Fogyasztás és termelés

A globális gázfogyasztás 0,4%-kal nőtt, míg az EU gázfogyasztása 11,6%-kal csökkent. A globális gáztermelés 1,6%-kal nőtt, míg az EU gáztermelése 9,8%-kal csökkent.

Kereskedelem

A globális földgáz-kereskedelem 3,4%-kal, a vezetékes gázszállítás 6,2%-kal, az orosz export 11,8%-kal, a holland 30%-kal csökkent. A UK 28%-kal, Németország 10%-kal, Ukrajna +30%-kal csökkentette vezetékes importját. Látjuk, hogy az EU gázfogyasztása közel 12%-kal, gáztermelése kereken 10%-kal csökkent. Ezt az erős gázfelhasználás-csökkenést több okra is vissza lehet vezetni: a gáztüzelésű áramtermelés anyagi ellehetetlenülésére, a megújulók előretörésére, az olcsó, amerikai szén exportjára, az EU gazdasági stagnálására stb. A gázpiacok egyértelmű vesztese Oroszország, lásd az orosz export majd 12%-os visszaesése.

Az európai árampiac helyzete

- 2008 óta jelentős változások következtek be. A villamosenergia- és a széndioxid-kvóták iránti kereslet csök-

kenése, az amerikai palagáz-forradalom, a szénárak mérséklődése, és néhány EU tagállam megújuló energiás fejlesztései átrendezték a piacot.

- A kontinentális európai nagykereskedelmi árampiacokon folyamatosan csökkenő árak alakultak ki. Ezeket azonban a fogyasztók nem érzékelték a többnyire kötelező átvételi rendszerben termelő megújulós erőművek fokozódó ártámogatása következtében.
- A földgázárak nem követték a villamos energia nagykereskedelmi árainak csökkenését, a földgázbázisú áramtermelés veszteségessé vált. Európa számos országában sorra állítják le a korszerű gáztüzelésű erőműveket is.
- Az EU villamosenergia-fogyasztása az elmúlt évben 1,9%-kal nőtt.

A magyarországi villamosenergia-ellátás biztonságának kérdései

A magyar erőműpark jellemzője, hogy kapacitásai jelentős arányban elavultak, és a földgáztüzelésű erőművek részaránya meghaladja az európai átlagot.

Az egységesülő régiós és európai árampiacon a hazai erőművek nagy része (lényegében Paks és Mátra kivételével) nem versenyképes. Az utóbbi években a hazai erőműpark kihasználása egyre csökkenő.

Több erőművet leállítottak, és még a legújabb, jó hatásfokú egységek (Gönyű, illetve Dunamenti G3) is alig működnek. Egyes kapcsolt termelést biztosító egységek már hivatalosan leálltak.

A hazai fogyasztókat egyre nagyobb mértékben import villamos energiával látják el, az importszaldó részaránya nő, 2015-ben már meghaladja a 40%-ot.

Mit hoz a jövő? Merre haladjon az EU-ban a villamosenergia-piac?

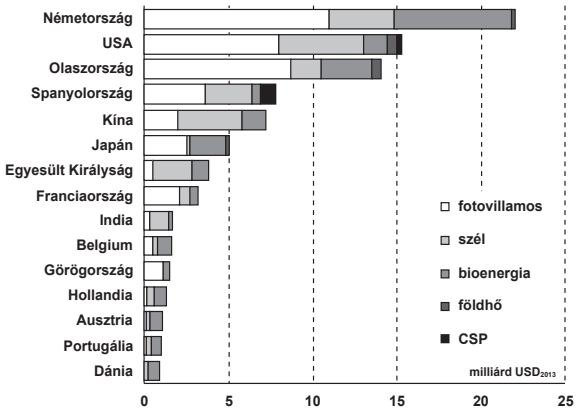
Az EU-ban már egy évtizede eldőlt a fenti kérdés. Európa a megújuló energia bázisú villamosenergia-termelést választotta, míg a nukleáris energiához ambivalens módon állt hozzá: egyrészt folyamatosan a nukleáris energia fontosságát hangsúlyozta, másrészt mindent megtett, hogy rendkívül nehéz legyen az EU-ban új atomerőművet építeni. Németország még ezen is túllépett, a németek egyszerre akarják gyors ütemben növelni a megújuló energiák részarányát az áramtermelésben, másrészt döntöttek néhány régebbi atomerőmű azonnali, a többi atomerőmű 2023-ig történő leállításáról. Meg kell említeni, hogy a leállításra ítélt atomerőművek működését nem sokkal korábban még meghosszabbították. Hogy a helyzet még zavarosabb legyen, a leállított atomerőműveket szenes erőművekkel pótolták, növelve így a német emissziókat. A néhány éve megszavazott német energiapolitika, az ún. Energiewende a német áram-mixben 2030-ra 50%-os, 2050-re 80%-os megújuló energiás részarányt tervez. Ha a világ-árammixet nézzük, akkor világszerte 2030-ra 20%, 2050-re 28% lesz a megújulós részarány.

Van-e értelme ennek az előre-rohanásnak? Nézzük meg, mit ír erről az OECD új „Középtávú megújuló-energia piac jelentés 2015”?

Vitathatatlan, az új áramtermelő kapacitások több mint 45%-a megújuló energia bázisú. Az energia „szomjas” fejlődő országok, elsősorban Kína és India gyors ütemben növelik megújuló kapacitásaikat, főképp a napenergiát és a szárazföldi szelet.

De mi is a jövője a megújuló energiáknak? Valóban versenyképessé válnak? Meddig marad fenn támogatási igényük? Nehéz ezekre a kérdésekre választ adni, de figyelembe kell venni a fosszilis tüzelőanyagok árainak drámai esését és a frissen meglelt, ma kimeríthetetlennek tűnő, több száz évre elegendő fosszilis energia készleteket. Mindezek a tények számos országban megingatták a kormányokat, és a megújulók támogatása mögül sokan kihátrálnak. Elsősorban az OECD tagállamokra jellemző ez, ahol a villamosenergia-igény stagnál, míg a megújulók gyors fejlesztése gazdasági nyomás alá helyezi a meglévő villamosenergia-rendszert. A fejlődő országok piacain szabályozási, hálózatfejlesztési, energiatárolási és finanszírozási kihívások fékezik a megújuló energiák fejlődését az OECD jelentése szerint.

Az IEA WEO-2014 című tanulmánya érdekes ábrán mutatja be a megújuló energiák támogatását.



2. ábra. **Megújuló energia támogatások az első 15 országban, 2013, Mrd USD** (Forrás: IEA WEO-2014)

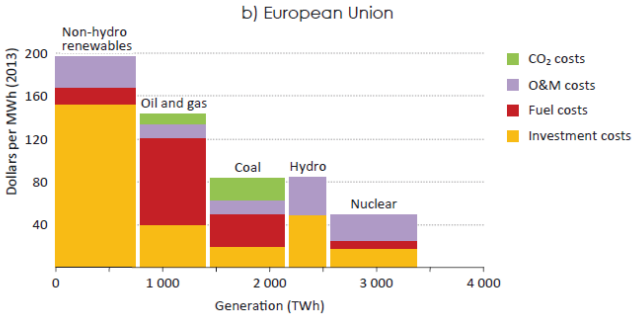
2013-ban a német megújuló energia támogatások a legnagyobbak a világon. Érdekes megnézni, hogy a világ 200 országából csak hat költ jelentősebb összeget – legalább évi 5 milliárd dollárt – megújuló energiák támogatására. (Gondoljunk csak a görögöknek kiosztott százmilliárdokra!) Még extrémebbé válik a támogatási skála, ha az egy főre vetített támogatásokat nézzük. Ekkor az egy állampolgárra vetített német támogatások 5-10-20-szor nagyobbak, mint a többi fejlett országban. Ha a fejlődő országokkal vetjük össze a fajlagos német támogatást, akkor pl. Kína esetében 50-szer, Indiánál 160-szor nagyobb a német támogatás.

Az IEA WEO-2014. tanulmány bemutatja, meddig kell még támogatni a megújulókat? Sokat hallani arról, hogy a megújuló energiák egyre versenyképesebbekké válnak. A Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) elemzése szerint a megújulók még hosszabb ideig igényelnek támogatást, a következő évtizedben a megújulók támogatási igénye 2-2,5-szeresére nő, és 2030-ra – globális szinten – eléri a 230 milliárd USD-t. 2030 után a támogatások lassan csökkenni kezdenek, de még 2040 után is kétszáz milliárd USD felett marad a támogatási igény. A támogatás csökkenése egyedül az egyébként jelenleg rendkívül drága szoláris PV-nál várható.

Az IEA WEO-2014. tanulmány azzal is foglalkozik, hogy hogyan alakítsuk az áramtermelés jövőképét? Maradjunk a mostani mixnél vagy térjünk át a megújuló energiákra? Az IEA tanulmányában találhatunk választ a kérdésre, hogy melyik technológia adja legolcsóbban az áramot?

A 3. ábra az EU-ra vonatkozik, a függőleges tengely az egyes technológiák által generált költséget mutatja be USD/MWh-ban, a vízszintes tengelyen az öt fő technológia által várhatóan megtermelt villamos energia mennyiséget mutatja TWh-ban.

Az IEA tanulmánya szerint, életciklusra vetítve, az összes költséget figyelembe véve, a nukleáris eredetű áram a legolcsóbb, a nemvízerőművi megújulók (szél, nap, geotermikus, biomassza) a legdrágábbak. Ez szöges ellentétben áll a hazai megújuló lobby képviselőinek a véleményével. A nem-víz megújulók drágaságában fontos szerepe van alacsony éves kihasználási óraszámuknak vagy más szóval gyen-



3. ábra. **Életciklusra vetített összesített áramtermelési költségek az Európai Unióban az IEA „Új politikák" szcenárió szerint, USD/MWh, 2020** (Forrás: IEA WEO-2014. Az egyes költségek alulról felfelé: Beruházási kltsg., Tüzelőanyag kltsg., Működés-karbantartás kltsg., CO_2 költség)

ge kapacitás-értéküknek (a szélé 5-ször, a napé 10-szer kisebb, mint az atomé) továbbá nem a fogyasztáshoz illeszkedő termelési képességüknek. További negatív tényező a nem-víz megújulók versenyképességében a relatíve rövid, 20 év körüli élettartam. Ezzel szemben áll az új atomerőművek 60 éves élettartama. A szél és napenergia rengeteg hálózatfejlesztési, szabályozási és energiatárolási beruházást is igényel. Vagyis hiába fúj ingyen a szél, süt ingyen a nap, a szél és a napenergia nem olcsó technológia, és különösen most, a nagyon olcsó fosszilis energiák idején, nagyon távol áll attól, hogy versenyképes legyen.

A híres német „Alkalmazott tudományok intézete", a Fraunhofer intézet elemző táblázata is ezt erősíti meg, mely azt mutatja be, különböző technológiákkal történő villamosenergia-termelés esetén 1 MWh-t milyen költséggel lehet előállítani.

2. táblázat. Áram-termelési költségek, €/MWh, (Fraunhofer ISE 2013)

Energiahordozó	€/MWh
Barnaszén	38-53
Kőszén	63-80
Földgáz	75-98
Szél, szárazföldi	45-107
Szél, tengeri	119-194
Biomassza	135-215
Fotovoltaikus, kicsi	98-142
Fotovoltaikus, nagy	79-116
Paks1*	42
*A szerző számítása szerint, 13 HUF/kWh termelői árral, 310 HUF = 1 € árfolyammal számolva. Paks2 termelői ára Aszódi Attila számítása szerint 50-55 €/MWh lesz.	

A 2. táblázat is azt mutatja, hogy a atomerőművi, a szén- és a földgáztüzelésű erőművekben termelt áram a legolcsóbb, ezzel szemben a biomassza és a tengeri szélerőművek termelte áram 2-3-4-szer is drágább lehet a német adatok szerint. Nyilvánvaló, hogy a megújuló energiákat magas termelési áruk miatt kell emelt árú, kötelező átvétellel támogatni. Mindenképpen figyelemre méltó adatok ezek, melyeket a hazai döntéshozóknak figyelembe kellene venni, mikor a jövő megújuló energia politikáját tervezik.

A német Energiafordulat, az Energiewende elemzése

Az Energiewende egy német politikai dokumentum, mely a következő évtizedekre meghatározza a német energiapolitikát. Alapvető célja a megújuló energiák gyorsított ütemű bevezetése, az energiahatékonyság fokozása továbbá a nukleáris energia leállítása. A német kormány az Energiewendét példaként szánja a többi ország részére.

Miért van szükség Energiafordulatra?

A dokumentum szerzői az alábbi indokokat sorolják fel a „Fordulat" mentén érvelve:

- *A klímaváltozás ellene küzdelem fokozása.* A szén, olaj és földgáz-tüzelés hozzájárul a Föld melegedéséhez, a jelenlegi energiaellátás nem fenntartható. Az Energiewende egyik célja az energiaellátás dekarbonizációja a megújuló energiák és a hatékonyság növelése révén.
- *Az energiaimport csökkentése.* Németország importfüggése kétharmados. A megújuló energiák és a hatékonyság növelése segít az import csökkentésében, és növeli az ellátás-biztonságot.
- *A megújulós technológiák és a zöld gazdaság fejlesztése.* A „Fordulat" elősegíti a zöld innovatív technológiák fejlesztését, új állásokat teremt, elősegíti a német megújuló energia exportot.
- *Az atomenergia kockázatainak csökkentése és megszüntetése.* Németország elutasítja az atomenergia használatát a kockázatok, a költségek miatt. Német vélemények szerint az atomenergia nem játszik jelentős szerepet a jövő áramellátásában.
- *Energiaellátás-biztonság.* A megújulók csökkentik az importfüggőséget, és csökkentik Németország függőséget a kiszámíthatatlan áringadozásoktól és politikai eseményektől.
- *A helyi gazdaság fejlesztése, szociális igazság megteremtése.* A helyi megújulós beruházások segítik a helyi gazdaság fejlődését. A megújuló energiák és a hatékonyság növelése megvédi a fogyasztókat a helyi áringadozásoktól.

A „Fordulat" középponti témaként kezeli a megújuló energiás technológiák fejlesztését, melyek az alábbi irányokban indulnak meg: A hatékonyság fejlesztése, a széntüzelésű áramtermelés visszafejlesztése, szélenergia, biomassza, szoláris energia (PV), egyéb megújulók, okos hálózatok és energia tárolás, rugalmas áramtermelés (nincs baseload), energia az embereknél az emberekért.

A „Fordulat"-ban az alábbi fő célokat fogalmazták meg, lásd 3. táblázat.

3. táblázat. Az Energiewendében megfogalmazott célok, %

		2020	2030	2040	2050
Villamosenergia-fogyasztás (2008)	100%	90/35	–/50	–/65	75/80
Összenergia fogyasztás (2008)	100%	80/18	–/30	–/45	50/60
Hőfogyasztás épületekben (2008)	100%	80/14			20
Közlekedési végső en. fogy. (2005)	100%	90/10			60

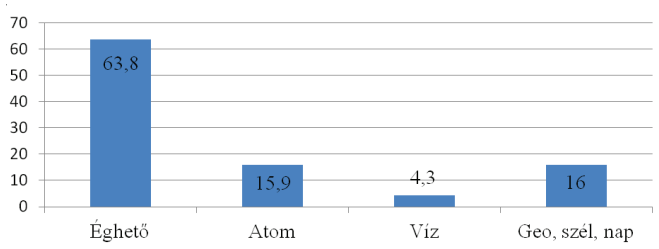
A táblázatban lévő első szám az adott változó %-os értékét mutatja, míg a második szám a megújuló energia részarányt mutatja, ugyancsak %-ban. Azaz pl. a német áramfogyasztás 2050-ben a 2008-as bázisév 75%-ára csökken, és annak 80%-a megújuló energiából készül. A – jel azt mutatja, hogy arra az időpontra nincs előrejelzés.

Az Energiewende célok rendkívül ambiciózusak, az összfogyasztás 50%-os, az áramfogyasztás 25%-os, az épületenergetikai és közlekedési fogyasztás 80, illetve 40%-os csökkenésével számolnak.

Az Energiewende megvalósításának teljes költsége a 2011-2050 közötti időszakra 1500 milliárd euró, tőkeköltség nélkül. (Forrás: Fraunhofer Institut, Geschäftsmodell Energiewende, 2014.) E hatalmas összeg egyik fő forrása a háztartási villamos energiára

kivetett ún. EEG adó, melynek értéke 2014-ben 6,24 cent/kWh. Az Energiewende projekt a 2030-as évek közepén – a megtakarított fosszilis energiákból származó jövedelemből – nullszaldóssá majd nyereségessé válik. Nagy kérdés viszont, hogy milyen olaj és gázárral számolják a fosszilis energiákon megtakarított kiadást, mert ettől alapvetően függ a megtérülés.

Végezetül nézzük meg, milyen volt 2014-ben a német áram-mix (lásd 4. ábra).



4. ábra. **Német áram-mix, 2014, %**
(Forrás: IEA Monthly Electricity Statistics, May 2015)

A 2015. január-május időszakban az előző év azonos időszakához képest a belföldi termelés 3,6%-kal, a belföldi fogyasztás 1,8%-kal nőtt.

Tanulságos megnézni a 4. ábrát, látszik, hogy az Energiewende még nem ért el különösebb eredményeket, a német villamosenergia termelés közel 80%-át a fosszilis tüzelőanyagok és az atomenergia adja, míg a sokat emlegetett szél és nap, és a többi nem hidro-megújuló energia csak 16%-ot képvisel. A sajtóban megjelenő diadal-jelentések arról, hogy a szél és napenergia már az áramigény 60-70-80%-át termeli meg, egyszerűen nem igazak.

Kritikák

Az Energiewendéről ezerszámra lehet találni dicsérő publikációt, de ugyanannyi erősen kritikus anyag is található. A tárgyilagosság érdekében a londoni székhelyű, a nagy energiacégekből szerveződött World Energy Council (WEC, hazánk is tagja) és a német gazdasági lap, a Handelsblatt egy-egy cikkét mutatjuk be.

A WEC 35 szakértőre – ebből 20 európai – kiterjedő felmérést készített. A szakértők kétkednek abban, hogy Németország teljesíteni tudja 2020-as klímavállalásait, elsősorban a leállított atomerőműveket pótló szenes erőművek terjedése miatt (ezt a kormányzati dokumentumok is így látják). Senki sem értett egyet azzal, hogy a 17 német atomerőműből a kancellár, egy héttel Fukushima után, 8-at leállíttatott, a maradék atomerőműveket 2023-ig kell leállítani. Hasonlóan egyhangú elutasításban részesült a német javaslat, hogy az Energiewende legyen minta más országok számára. Érdekes megállapítása a WEC felmérésnek, hogy Németország egyike azon országoknak, melyek a legkevésbé alkalmasak az Energiewende végrehajtására, mivel Németország világszerte a legkedvezőtlenebb szolár PV és szélenergia adottságokkal rendelkezik, és más megújuló energiákban is szegény. Pl. 2014-ben a 39GW német szélturbina kevesebb áramot termelt, mint a 23 GW Spanyolországban (a német szélturbinák kapacitásértéke csak 15-20%). A dubai szolár PV telepek is fajlagosan kétszer annyi áramot termelnek, mint a németek. A WEC szakértők szerint a világ szinte minden országában olcsóbb lenne egy hasonló fordulat, mint Németországban, továbbá az atomenergia leállítása szakmaiatlan, felelőtlen döntés volt. Összefoglalóan: World Energy Council (WEC) survey finds Energiewende not model for the world (azaz a WEC felmérés szerint az Energiewende nem minta a világ részére).

A Handelsblatt 2015.09.29-i számában „Az Energiewende az áramfogyasztóknak 28 Milliárd Euróba kerül évente" címmel jelent meg cikk, melyben a német villamosenergia-ipar vezetői nyilatkoznak az Energiewende hatásairól. Ezek szerint a meglévő erőművek helyzete egyre nehezebb, egyre több erőművet állítanak le, miközben a tervezett új erőművek fele várhatóan a tervezőasztalon marad, sohasem épül meg, pedig nagy szükség lenne gáz- és széntüzelésű erőművekre. A hírek szerint összesen 57 konvencionális erőmű leállítását tervezik. Ennek oka az, hogy az Energiewende miatt ezeknek az erőműveknek nem nyereséges az üzemeltetése. Az Energiewende egyik erősen negatív következménye, hogy a befektetők szemszögéből a német telephelyek kedvezőtlen megítélésűek, ez elriasztja a befektetőket, és sok munkahely elvész emiatt. Az Energiewende kezdetekor azt ígérte a kormány, hogy az energiaárak stabilak és nemzetközi összevetésben kedvezőek lesznek. Egyik ígéret sem valósult meg, és a legújabb számítások azt mutatják, az árak évről évre emelkedni fognak. Egy átlagos háztartás ma már évi 270 Euróval támogatja az Energiewendét. Egy olvasói vélemény a Handelsblattból: az Energiewende a legrosszabb gazdaságpolitikai döntés volt az NSZK történetében.

A szerző véleménye: Lássuk, hogy áll az Energiewende?

A dokumentum kidolgozói az alábbi feltevésekre építettek:

- Rövidesen elfogyóban lesznek a fosszilis energiák;
- Az olaj és vele együtt a gáz ára az egekbe szökik;
- Az orosz olaj- és gázexport akadozni fog;
- A leállított atomerőműveket helyettesíteni lehet megújuló energiával;
- Hatalmas megújuló technológia exportot eredményez;
- Növeli a foglalkoztatást.

Nos, az Energiewende kidolgozóinak pechük volt. Másképp alakult a világ, az olaj és gázkészletek nem merültek ki, a fosszilis energiák ára rendkívül alacsony, az orosz energiaszállítások zavartalanul folynak, Európa gázigénye gyorsan csökken. De a leállított atomerőműveket csak szénnel és földgázzal lehetett pótolni. A megújuló energiás technológiák exportja megindult, de az európai gazdasági stagnálás visszafogta a legtöbb tagállamban a megújulók fejlesztését. Mindez és a gyorsan meginduló olcsó kínai export a német exportot is lefékezte. Azt pedig pozitívumnak tekinteni, hogy a megújulók fejlesztése segítségével és az atomerőművek leállításával sikerült elérni, hogy most kétszer-háromszor annyi ember állítja elő ugyanazt a villamos energia mennyiséget, nagyon nehéz gazdasági előnynek tekinteni. Ahogy azt sem lehet gazdasági eredménynek tekinteni, hogy Németország „védi a Földet".

Az Energiewende eddigi negatív hatásai:

- Az atomerőművek leállítása miatt a szénerőművek előretörése, az emissziók és a német importfüggőség növekedése;
- A túlfejlesztett szél és napenergiás rendszerek miatt a meglévő szén-, illetve földgáz tüzelésű erőművek anyagi ellehetetlenülése, az új fosszilis erőmű-építések leállása, növekvő rendszerszabályozási és ellátás-biztonsági gondok;
- A háztartási villamosenergia-árak gyors emelkedése, egyre növekvő költségvetési támogatási igény a megújuló energiák fejlesztésére.

A legnagyobb baj az Energiewendével, hogy nem szakmai alapon jött létre, hanem politikai természetű, voluntarista döntés volt.

Véleményünk szerint a 2050-ig tartó időszakban a fosszilis energiáknak, az atomenergiának és a megújuló energiáknak minél inkább piaci viszonyok között együtt kell élniük, és mindent meg kell tenni eközben az energiahatékonyság fejlesztésére, mely takarékos és hatásos választ tud adni a klímaváltozás kihívásaira.

A közép-kelet-európai erőművi beruházások vizsgálata

Gruhala Ádám
adam.gruhala@gmail.com

Mezősi András
andras.mezosi@uni-corvinus.hu

Az európai áramszektor jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt 10-15 évben. Dolgozatunk az új helyzethez való igazodás tényállásait Közép-Kelet-Európára koncentrálva taglalja. Ismertetjük a szén és gáz alapú erőművek versenyképességének alapvető számítási módszereit. Értelmezzük továbbá az ebben a turbulens helyzetben tapasztalható gáz- és szénerőművi beruházási tendenciákat, magában foglalva az új projektek számának alakulását, státuszaik változását, illetve az építési stádium hatását a létesítés során megfigyelhető csúszásokra.

*

The European electricity sector has gone through significant changes over the past 10-15 years. Our study outlines the facts of the adaptation to the new situation, focusing on Central and Eastern Europe. We explain the basic methods for calculating the competitiveness of coal and gas-based power plants, continued by the interpretation of gas and coal power plant investment trends in this turbulent situation, involving changes in the number of new projects, status changes and the impact of the construction stage on the delays observed during the establishment of the power plants.

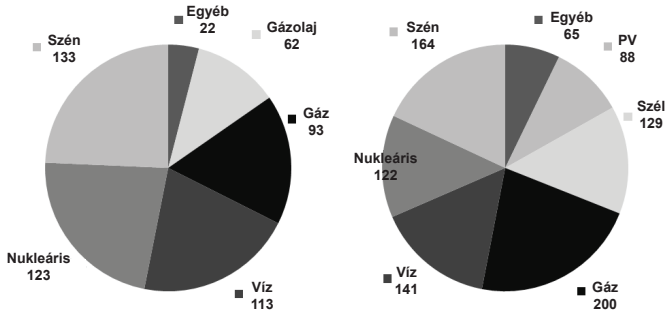
* * *

Az utóbbi években jelentős változáson ment keresztül az európai árampiac. A termelés liberalizációjával a beruházási döntések az állami vertikálisan integrált vállalatok kezéből kikerültek, a beruházási döntések piaci alapra helyeződtek. Az erőművi beruházásokat két részre lehet osztani. Míg a fosszilis erőművek támogatás nélkül, a versenypiacra termelve kell, hogy megtérüljenek, addig a megújuló energiaforrások jellemzően izolált, védett piacon működnek, különböző támogatások segítségével. Dolgozatunk fókuszában a fosszilis erőművek beruházása áll. Célunk annak vizsgálata, hogy az utóbbi években az egyes fosszilis erőművek beruházása milyen ütemben haladt, átlagosan milyen késésekkel lehet számolni, és keressük a választ, hogy ezen késéseket mi magyarázza. A kutatás során a közép-kelet európai erőművekre fókuszálunk, elsősorban a 2009-2014-es adatokat vizsgálva. A dolgozat első felében bemutatjuk hogyan alakult át az európai erőművi szerkezet, rámutatva a főbb tendenciákra. A dolgozat második felében röviden összefoglaljuk az erőművi beruházások főbb mozgatórugóit. A dolgozat harmadik felében az empirikus elemzésünket mutatjuk be, amely során vizsgáljuk, hogy átlagosan az egyes erőműtípusoknál mennyivel hosszabb az erőmű felépítése, mint az eredetileg tervezett idő. Végül pedig összefoglaljuk a főbb következtetéseinket.

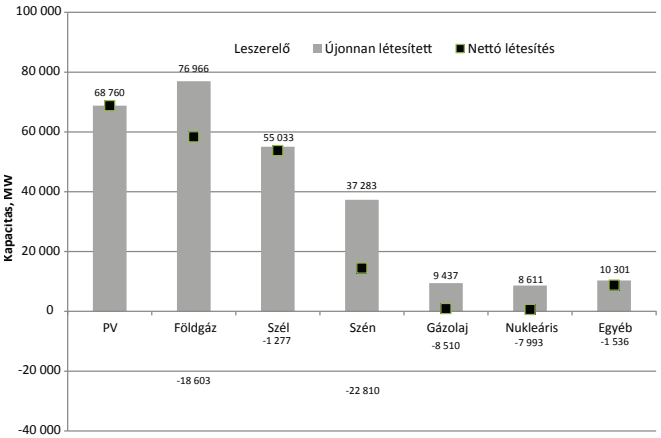
Az európai árampiaci kapacitások változása az elmúlt években

Új erőművekre két ok miatt is szükség van. Egyrészt a kereslet – leszámítva az elmúlt néhány évet – folyamatosan növekszik, másrészt pedig a régi erőművi egységek elöregszenek, lejár az élettartalmuk, így azokat pótolni szükséges. Az elmúlt 10-15 évben jelentős változáson ment keresztül az európai áramszektor.

Az 1. ábra két diagramját összevetve megállapíthatjuk, hogy 2000 és 2014 között a gázerőművek térnyerése folytatódott. Habár a beépített kapacitás mennyiség alapján a szénerőművek is nőttek, a többi energiaforráshoz képest csökkent a részarányuk. A vízerőművek is vesztettek részarányukból, melynek legfőbb oka, hogy Európa vízenergia potenciáljának nagy része már 2000 előtt is kihasználásra került. A nukleáris erőművek részesedése az energiamixből ugyancsak csökkent, beépített kapacitásuk stagnált. A számos csökkenő részarányú energiaforrás helyére a szél, és a fotovoltaikus (PV) erőművek léptek be, melyek az ezredfordulón még alig szerepeltették magukat az energiamixben. Mára a szélerőművek beépített kapacitása a tízszeresére nőtt, a PV-k pedig a közel nulla százalékos részarányból 10%-ra nőttek, köszönhetően az európai megújulós céloknak, és a megújuló energiaforrások különböző típusú támogatásának.



1. ábra. **Az európai beépített kapacitás 2000-ben (bal oldal) és 2014-ben (jobb oldal), GW**
Forrás: EWEA, 2015



2. ábra. **Újonnan létesített, és leszerelő kapacitások Európában 2010- 2014 között, MW**
Forrás: EWEA (2011), EWEA (2012), EWEA (2013), EWEA (2014), EWEA (2015)

A 2. ábra mutatja, hogy az egyes villamosenergia-termelő technológiák mekkora kapacitásmennyiségben létesültek, illetve kerültek leszerelésre. Az utóbbi öt évben Európában közel 77 GW-nyi gázos kapacitás került kiépítésre, ugyanakkor ezen technológiából 18,6 GW leszerelésre került, így a legnagyobb nettó növekedést a fotovoltaikus

kapacitások esetében fedezhetjük fel. Jelentős nettó növekedést értek el a szélerőművek, míg a széntüzelésű erőművek nettó növekedése bőven 20 GW alatt volt, köszönhetően annak, hogy több, mint 22 GW ilyen típusú erőművet szereltek le az elmúlt öt évben.

A beruházások főbb mozgatórugói

Az erőművi beruházások tendenciájára számos tényező van hatással. A projektekre nagy hatást gyakorol az aktuális piaci helyzet. Fosszilis erőművek esetén a piaci helyzet alakulását jól érzékelteti a clean spark és a clean dark spread, melyek a gáz, illetve szén alapú technológiáknak a termelői áramár és a változó költségek különbségét kifejező árrés mutatók. Figyelembe veszik az aktuális termelői áramárakat, változó költségként pedig a tüzelőanyag-költségét, az erőművek átlagos átalakítási hatásfokát, és a széndioxid kvóták árát. Az alábbi képletek mutatják hogyan számszerűsíthető a két mutató.

$$\text{Clean dark spread} = P - \frac{C}{h_C} - \frac{Q \cdot F_C}{h_C}$$

ahol:

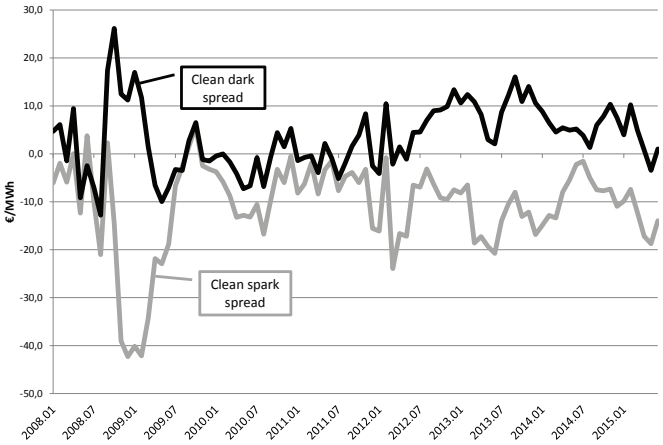
P – Villamosenergia-ára, €/MWh
C – Szén fajlagos költsége, €/MWh
h_C – Szénerőmű hatásfoka, %
Q – CO_2 kvóta ára, €/t
F_C – Szén CO_2 emissziós faktora, t/MWh

$$\text{Clean spark spread} = P - \frac{G}{h_G} - \frac{Q \cdot F_C}{h_C}$$

ahol:

P – Villamosenergia-ára, €/MWh
G – Földgáz fajlagos költsége, €/MWh
h_G – Gázerőmű hatásfoka, %
Q – CO_2 kvóta ára, €/t
F_G – Földgáz CO_2 emissziós faktora, t/MWh

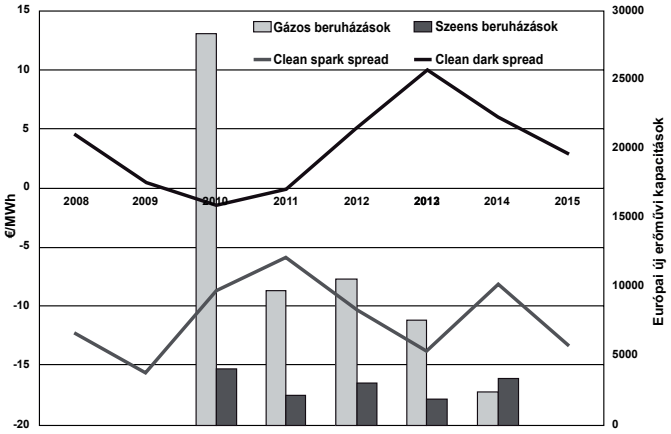
A két mutató jelzi, hogy mekkora haszon származik egységnyi termelt villamos energia után. Az egyes tagok vizsgálatával könnyen értelmezhető a piaci helyzet alakulása. A 4. ábra szemlélteti hogyan alakult a clean dark és spark spread 2008-tól kezdve. Fontos kihangsúlyozni, hogy mindkét technológia esetében az értékesítési árnak a zsinór másnapi villamosenergia-árat vettük. Ezen számításból sok információ leszűrhető. Egyrészt a szenes erőművek rövid



3. ábra. **Clean dark spread és clean spark spread értékek Európában 2008-2015**
Forrás: REKK (2013) és REKK (2015) alapján saját számítás

távú haszna – egy rövid időszakot leszámítva – nulla körül mozog egy +/- 10 €/MWh-ás sávban. Ez hosszú távon nem elegendő arra, hogy a fix költségeit – különösen egy új beruházás esetén – fedezze. Még ennél is pesszimistább képet kapunk a gázos erőművek esetén. A clean spark spread értéke az egész vizsgált időszak alatt negatív, azaz pusztán a villamosenergia-termékpiacról ezen típusú erőművek még a változó költségeiket sem tudják fedezni.

Érdemes megvizsgálni a két spread és az Európában létesült új gázos és szenes kapacitások mennyiségének a viszonyát, amelyet a 4. ábra mutat.



4. ábra. **Clean dark spread és clean spark spread értékek Európában és az erőművi beruházások alakulása 2008-2015**
Forrás: REKK (2012), REKK (2015) EWEA (2011), EWEA (2012), EWEA (2013), EWEA (2014), EWEA (2015) alapján saját számítás

Látható, hogy habár a clean spark spread értéke végig negatív, ennek ellenére jelentős mennyiségű gázos kapacitás épült ki, különösen kiugró a 2010-es év. Ez annak köszönhető, hogy döntően ekkor fejeződtek be azok a projektek, amelyeket még a gazdasági válság előtt kezdtek el, amikor az erőművek megtérülése lényegesen pozitívabb képet mutatott. Ezt követően jelentősen csökkent az új kapacitások megjelenése 2014-re elérve a mélypontot, amikor már alig 2 GW-nyi új gázos kapacitás került a piacra. A szenes erőműveknél nem rajzolódik ki ennyire tiszta tendencia, köszönhetően annak, hogy ezen technológia esetében az építési hossza az előkészületekkel együtt meghaladhatja az 5-6 évet is.

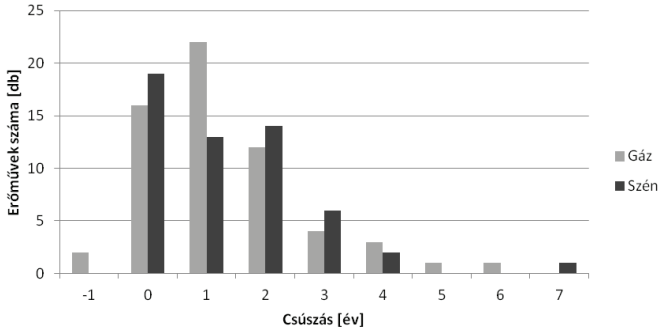
A közép-kelet európai fosszilis erőművi beruházások időbeli csúszásának vizsgálata

A PLATTS két folyóirata – a Power in Europe és az Energy in East Europe – rendszeres időközönként publikálja, hogy az egyes európai országokban hogyan állnak a konkrét beruházások ([13]-[25]). Ezen adatbázisok tartalmazzák a beruházások helyszínét, legfőbb befektetőit, az érintett kapacitás nagyságát, az energiaátalakításhoz felhasználandó üzemanyagot, és az egyes években az erőművek tervezett hálózatra lépési idejét, aktuális létesítési stádiumát. Jelen vizsgálathoz csak a szén, és gáz alapú technológiákat vettük figyelembe, melyek legalább három évben konzekvensen szerepeltek az adatforrásokban. Ezen kritériumoknak eleget tevő projektek esetén vizsgáltuk, hogy mennyit csúsznak a beruházások, és kerestük ennek potenciális okát a különböző létesítési stádiumokban.

Összesen 116 projektet vizsgáltunk ezzel a szűkítéssel, ezek közül 61 gáz-, 55 széntüzelésen alapul, míg a területi elhelyezkedését mutatja az alábbi térkép, ahol az első szám jelöli az adott ország gáz alapú, a második pedig a szén alapú beruházásait.

5. ábra. **A vizsgált országok gáz-, illetve szénerőműveinek eloszlása Európa térképén; db**

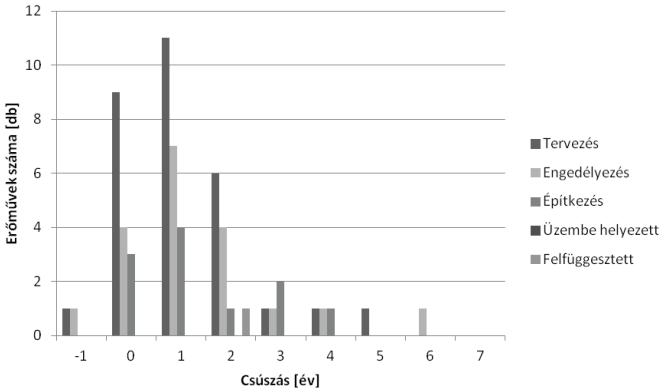
Az eredetileg tervezett üzembe helyezési időpontokhoz képest előfordult egy évvel előbb elkészült, de a 2013-as állás szerint hét évet csúszó beruházás is, melynek elkészülte még változhat. Az egyes erőművek csúszásait úgy állapítottuk meg, hogy összehasonlítottuk az első és az utolsó adatközlést melyben szerepelt az adott beruházás, amikből a közölt várható elkészülési idők különbségét vettük. A 6. ábra mutatja, hogy a két erőműtípus beruházásai közül hányan csúsznak és mennyit.



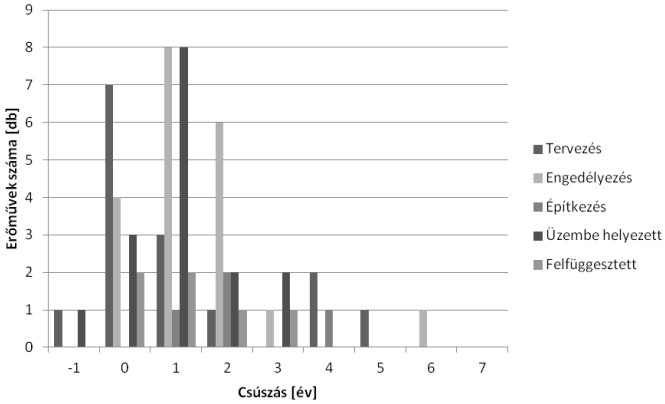
6. ábra. **Erőműtípusok darabszáma adott évi csúszással**

Elsőként szemet szúró a két korábban elkészülő gázerőmű. Ezek közül az egyik már üzemel, a másik elkészültét viszont első említésekor olyan későre tették, hogy a következő Platts adatforrás megjelenéséig egy évvel előbbre hozták a várható befejezését. Jól látható, hogy a 0-2 éves csúszás a jellemző ezen erőműtípusokra. A két technológia között nem figyelhetünk meg kimondottan nagy különbséget az erőművek csúszását illetően.

Érdemes megvizsgálni, hogy van-e összefüggés a csúszások és a beruházások létesítési stádiuma között. A Platts összesen öt kategóriát különböztet meg az erőművek építésének stádiumában: tervezés alatt, engedélyezés alatt, építés alatt, üzembe helyezett, illetve felfüggesztett. A 7. ábra és 8. ábra mutatja a gáz-, illetve szénerőművek csúszását és mennyiségét, viszont azt is szemléltetik, hogy az egyes beruházások milyen stádiumban álltak az első és az utolsó adatközlésben. Ezáltal azt is megvizsgálhatjuk, hogy a különböző technológiák csúszásai melyik stádiumban lépnek fel.

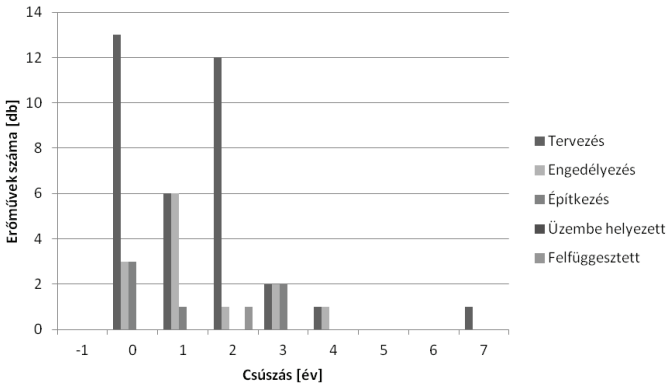


7. ábra. **Gáz alapú, adott létesítési státuszú erőművek csúszása a forrásban első említés szerint**

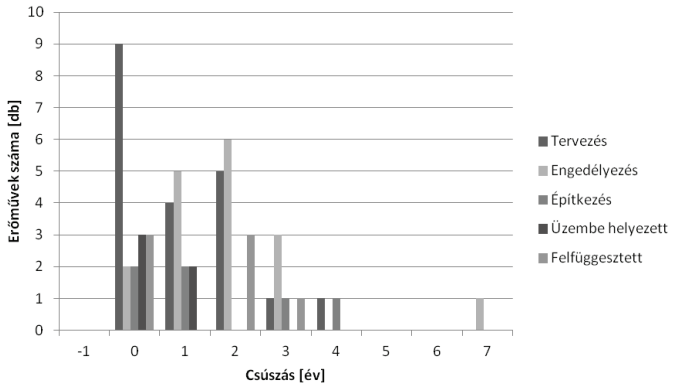


8. ábra. **Gáz alapú, adott létesítési státuszú erőművek csúszása a forrásban utolsó említés szerint**

Látható hogy a vizsgált időszakban csökkent az újonnan tervbe vett gáz alapú erőművek száma. Több tervezett erőmű továbblépett az engedélyeztetési szakaszba, azonban azt kevesebbnél követte építkezés is. A tervezés illetve engedélyezés alatt álló erőművek oszlopait összehasonlítva arra a megállapításra juthatunk, hogy a legtöbb erőmű csúszása az engedélyeztetési eljárások során alakul ki, ebben a szakaszban ugrik meg az 1-2 évet csúszó beruházások száma. A már építkezés alatt álló erőművek többségét üzembe helyezték, azonban nagymértékben megnőtt a felfüggesztett beruházások száma is, köszönhetően a világválság recessziója okozta alacsony áramárnak és a relatíve magas földgázáraknak.



9. ábra. **Szén alapú, adott létesítési státuszú erőművek csúszása a forrásban első említés szerint**



10. ábra. **Szén alapú, adott létesítési státuszú erőművek csúszása a forrásban utolsó említés szerint**

Ugyanezt vizsgálva a szén alapú beruházásokra, itt is láthatjuk, hogy csökkent az új beruházási tervek száma. A már tervezettek nagy része átlépett az engedélyeztetési stádiumba. A széntüzelésű erőműveknél kevésbé kiugró az engedélyeztetés alatt tapasztalható csúszás, az inkább megoszlik a tervezés és az engedélyezés időszaka alatt, de nagyobb mértékben fordult elő az építkezés alatti késés is. Itt is megnőtt a felfüggesztett projektek száma.

Összefoglalás

Az elemzés alapján számos konklúziót fogalmazhatunk meg. Az újonnan tervezett beruházások számának csökkenése a recesszió mellett a jelenlegi túlkínálattal is magyarázható, a lelassult gazdasági fejlődés miatt nincs szükség sok kapacitásnövelő beruházásra, elég a kilépő erőművek kompenzálására telepíteni új villamosenergia-termelőket. Láthatjuk, hogy majdnem ugyanannyi szénerőművet terveznek a vállalkozók építeni, mint gáztüzelésűt, melyet az elmúlt években tapasztalt folyamatosan negatív clean spark spread, és a nulla körüli clean dark spread is magyaráz. A szénerőművek helyzetét nehezíti, hogy tervezésük, jóváhagyásuk és építésük is tovább tart, mint gázerőműveknél, melyeknek az utolsó említéskor várható üzembe helyezési ideje és az első említés évszáma között képzett különbsége átlagosan 3,9 éves projektekké teszi őket, míg a szénerőművi beruházások átlagosan 5,6 évig tartanak.

Irodalomjegyzék

[1] CDC Climat Research: Methodology – Tendances carbone, 2013. Január.
[2] EWEA (2015): Wind in power – 2014 European statistics, European Wind Energy Association, 2015. február
[3] EWEA (2014): Wind in power – 2013 European statistics, European Wind Energy Association, 2014. február
[4] EWEA (2013): Wind in power – 2012 European statistics, European Wind Energy Association, 2013. február
[5] EWEA (2012): Wind in power – 2011 European statistics, European Wind Energy Association, 2012. február
[6] EWEA (2011): Wind in power – 2010 European statistics, European Wind Energy Association, 2011. február
[7] European Energy Exchange: ARA Futures, http://www.eex.com/en/market-data/coal/derivatives-market/ara-futures#!/2013/11/01, 2013. November.
[8] European Energy Exchange: EPEX SPOT, http://www.eex.com/en/market-data/power/spot-market/auction#!/2014/02/05, 2014. Február.
[9] Gaspool Balancing Services: Prices for Compensation Energy, http://www.gaspool.de/index.php?id=ausgleichsenergie_preise&no_cache=1&L=1, 2015. Június.
[10] Intercontinental Exchange: Futures Report, http://data.theice.com 2014. December.
[11] Intercontinental Exchange: Futures Report, http://data.theice.com 2013. December.
[12] Intercontinental Exchange: Futures Report, http://data.theice.com 2012. December.
[13] Platts: Energy in East Europe 2009.01.30.
[14] Platts: Energy in East Europe 2010.04.23.
[15] Platts: Energy in East Europe 2011.10.25.
[16] Platts: Energy in East Europe 2012.06.01.
[17] Platts: Power in Europe 2012.01.23.
[18] Platts: Power in Europe 2012.05.28.
[19] Platts: Power in Europe 2012.09.17.
[20] Platts: Power in Europe 2013.01.21.
[21] Platts: Power in Europe 2013.04.29.
[22] Platts: Power in Europe 2013.09.30.
[23] Platts, Power in Europe 2014.01.20.
[24] Platts: Power in Europe 2014.04.28.
[25] Platts: Power in Europe 2014.09.29.
[26] REKK (2013): Gáztüzelésű erőművek: lejtmenetben, in: REKK Piaci Jelentés, 2013/ii. szám
[27] REKK (2015): Piaci Jelentés, 2015/ii. szám

Otthon Melege Program

Keretemelés a társasházi pályázatnál is, 14 ezer háztartás újulhat meg

Befejeződött az Otthon Melege Program 2015 februárjában meghirdetett, a társasházak, lakásszövetkezetek komplex energetikai felújítását támogató alprogramjára beérkezett közel 500 pályázat feldolgozása. Az értékelések alapján 447 társasházi épület energiakorszerűsítési pályázata felelt meg az előírásoknak. A Nemzeti Fejlesztési Minisztérium a nagy érdeklődésre való tekintettel – a háztartási nagygép-csere alprogramokhoz hasonlóan – ezúttal is a keretemelés mellett döntött.

A keretemelésnek köszönhetően a tárca az eredeti 10 milliárd forint forráskeret helyett 11,8 milliárd forint támogatást nyújt. E forrásmennyiség 14 ezer háztartásban összesen 23,9 milliárd forint összegű fejlesztés megvalósítását segíti, átlagosan a beruházási költségek felével. A támogatásban részesített lakóközösségek harmadának értesítése már megtörtént, a napokban valamennyi társasház elektronikus úton tájékoztatást kap pályázata eredményéről.

A keretemelésnek köszönhetően, a beküldött pályázatok 91 százalékának támogatásával éves szinten és országosan 91,83 GW energia-megtakarítás érhető el, és 20 291 tonnával szorítható vissza a szén-dioxid-kibocsátás.

Az Otthon Melege Programnak köszönhetően 447 társasházban megvalósuló fejlesztések az épületek energiahatékonyságának javításával csökkentik a családok rezsiterheit is. A korszerűsített épületekben található háztartások kiadásai a beavatkozás mértékétől függően évi 30-180 ezer forinttal mérsékelődhetnek. A 2014 szeptemberében elindított Otthon Melege Program eddigi eredményei egyértelműen igazolják azt, hogy a magyar reformok működnek.

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium
Kommunikációs Főosztály

Földgáz ár kilátások

Dr. Szilágyi Zsombor
gázipari szakértő, drszilagyizsombor@freemail.hu

A világon a primer energia felhasználás 2014-ben 517 EJ (10^{18} J) volt, mintegy 5 EJ-al nőtt egy év alatt [1]. 2016-ban is tovább nő a földgáz fogyasztás: az USA-ban 2,1 %-os többlet igénnyel számolnak [3].

A földgáz 2014-ben megőrizte harmadik helyét a világ energiahordozó felhasználásában (1. táblázat): az olajtermékek és a szén után a legfontosabb energiahordozó. A megújuló energiahordozó használatát különösen Európában hangoztatják, és fejlesztési forrásokkal támogatják is a terjesztését. Ezzel együtt a megújulók a világ energia felhasználásnak még csak 9,3%-ot teszik ki.

1. táblázat. A világ primer energia termelése (EJ) [1]

	2013	2014
olajtermék	167	168
földgáz	122	123
szén	155	155
nukleáris	22	23
vízenergia	34	35
megújuló	11	13
összesen	512	517

A földgáz készletek semmilyen aggódásra nem adnak okot, nemcsak a nem konvencionális készletek gyarapodnak hétről hétre, hanem hagyományos mezőket is fedeznek fel. (Például 2015 októberben jelentettek be jelentős, új, 30 milliárd m^3-re becsült tengeri földgáz mezőt Románia partjainál, vagy 1100 milliárd m^3-es mezőt Egyiptomban.)

A 2. táblázatban a legnagyobb földgáz termelő és fogyasztó országok adatait mutatjuk be. Újdonság, hogy az USA gyorsan közelít ahhoz, hogy önellátó legyen földgázból. Ennek a sikeres palagáz kutatások és a kitermelés az oka, amit most a kőolaj 2014 közepétől bekövetkezett áresése erősen visszavet. Oroszország minden földgáz export lehetőséget megragad. Bár a kőolaj áresése leállította a nagy földgáz szállítóvezeték építési terveket (Déli Áramlat, Török Áramlat), az Északi Áramlat kapacitásának megkettőzése ragyogó eredmény az orosz gáz exportja növelésére.

Irán eddig a gazdasági bojkott miatt gyakorlatilag nem tudott földgázt exportálni, most ennek a lehetősége is megnyílik.

2. táblázat. Földgáz termelés és felhasználás (milliárd m^3) [1]

	Földgáz termelés		Földgáz felhasználás	
	2013	2014	2013	2014
USA	689,1	728,3	739,9	759,4
Oroszország	604,7	578,7	413,5	409,2
Irán	164,0	172,6	159,4	170,2
Kína	124,9	134,5	170,8	185,5
Kanada	156,1	162,0	103,9	104,2
Norvégia	108,7	108,8	4,4	4,7
Hollandia	68,7	55,8	37	32,1
Japán	–	–	113,5	112,5
Dél-Korea	–	–	52,5	47,8
Világ összesen	3408,8	3460,6	3381	3393

A földgázt nagynyomású, szállítóvezetéken vagy LNG formájában juttatják el a felhasználó országba. A fogyasztó csővezetéken kapja a gázt. A földgáz legnagyobb része tőzsdén kel el. A tőzsdén azonnali és határidős üzleteket kötnek. A határidős üzletek általában legfeljebb egy évre szólnak. A határidős üzletben szereplő gáz akár háromszor is gazdát cserélhet a tényleges leszállításig. A határidős árak általában a spot árak felett vannak, a tőzsde hosszabb távon az árak emelkedésével számol. Vannak még hosszú távú földgáz kereskedelmi szerződések is, általában a csővezetékes szállításra.

Magyarországról bármelyik európai vagy Európán túli földgáz tőzsdén is lehet üzleteket kötni, ehhez az adott tőzsdén tagsággal kell rendelkezni. A magyar bejegyzésű földgáz kereskedők némelyike általában a CEEGEX (Budapest) és a CEGH (Bécs) tőzsdéken üzletel.

További európai tőzsdék, az indulás évével:

NBP	National Balancing Point – Nagy Britannia, 1996
ZEE	Zeebruge – Belgium, 2000
TTF	Title Transfer Facility – Hollandia, 2003
PSV	Punto di Scambio Virtuale – Olaszország, 2003
PEG	Point d'Echange de Gaz – Franciaország, 2004
NCG	NetConnect Germany – Németország, 2007
BEB	GASPOOL – Németország, 2007
AOC	Almacenamiento para la operation comercial – Spanyolország, 2007
OTE	Csehország, 2013
POLPX	Lengyelország, 2013

Európában a földgáz árazásánál általában a NBP és a TTF árait használják. Az orosz szállítóvezetékes földgázt is általában a TTF árakkal határozzák meg.

Az LNG egyre nagyobb szerepet tölt be a világ földgáz kereskedelmében (3. táblázat). Azok az országok, amelyek jelentős földgáz termeléssel és tengerparttal rendelkeznek, ugyanakkor saját földgáz fogyasztásuk nem jelentős, az LNG piac vezetői lehettek.

A legnagyobb LNG exportőrök: Katar, Malajzia, Ausztrália, Nigéria, Indonézia, Trinidad, de Oroszország is megkezdte az LNG szállítását Távol-Keleten. Az LNG árát a szállítási távolság kismértékben befolyásolja, az LNG ár kötődik a vezetékes földgáz tőzsdei árához (bár már ez alól is volt kivétel). Az LNG árazásánál a japán kikötői árakat figyelik.

A földgáz aktuális árát és a határidős tőzsdei árakat is nagyon sok tényező befolyásolja. A kőolaj világpiaci kereskedése talán a legfontosabb földgáz ár mozgató: a kőolaj ármozgását irányban és mértékben is egy idő után követi a földgáz ára is. Természetesen kisebb-nagyobb anomáliák léteznek. A földgáz árában jelentős eltérítő tényező volt 2010 óta az USA palagáz kutatásának és kitermelésének rohamos előretörése. Ez a gáz általában a kőolaj kísérő gáza, ezért a palagáz kutatás és termelés költségeit a 100 USD/barrel szintű kőolaj ár kényelmesen fedte, a nem hagyományos földgáz termelés versenyképes volt a hagyományos bányászattal.

Bár a földgáz felhasználás szezonalitása követi az adott országra jellemző hőmérséklet alakulását, a földgáz árában az időjárást követő erős szezonalitás nem figyelhető meg.

Az USA földgáz piacán a Henry Hub (amerikai) tőzsde árait használják. Európában a NBP (Nagy Britannia) és a TTF (Hollandia) árak a meghatározóak. A német határ ár azért jellemző, mert évtizedeken át az oroszok export politikája az volt, hogy az orosz gáz ára bármely ország határán azonos a többi országéval. Ez a szokás már a múlté, az oroszok

3. táblázat. A vezetékes és LNG földgáz kereskedelem változása néhány kiemelt országban milliárd m^3 [1]

ország	2013				2014			
	csővezetékes		LNG		csővezetékes		LNG	
	import	export	import	export	import	export	import	export
USA	78,9	44,4	2,7	0,1	74,6	42,3	1,7	0,4
Kína	27,3	–	24,5	–	31,3	–	27,1	–
Japán	–	–	119	–	–	–	120,6	–
Oroszország	27	212	–	14,2	24,2	187,4	–	14,5
Norvégia	–	102,4	–	3,8	–	101,1	–	5,3
Algéria	–	28,8	–	14,9	–	23,5	–	17,3
Világ, összesen	707,5	707,5	325,3	325,3	663,9	663,9	333,3	333,3

4. táblázat. Földgáz árak (USD/ezer m^3) [4]

	2011		2012		2013		2014		2015	
	január	július	január	július	január	július	január	július	január	április
LNG Japán	300	426	474	444	453	450	555	354	300	276
Német határ ár	294	327	336	306	324	321	324	255	258	210
NBP spot	294	273	264	255	315	300	318	201	213	212
Henry Hub spot	147	148	90	84	108	111	144	141	93	75

erősen egyedi szerződéseket kötnek. A nagy európai földgáz szállítóvezetékeken általában hosszú távú szerződés alapján folyik a szállítás. Magyarország hosszú távú szerződése is 2015-ben járt le, de már megszületett az egyezség a szállítások folytatására. A jelenlegi magyar import szerződések feltételei szinte teljesen azonosak a nyugat-európai vásárlókkal kötött szerződésekkel.

A világ meghatározó tőzsdei földgáz áraiba pillanthatunk be a 4. táblázatban. A kőolaj 2014. évi áresése magával vonta a földgáz árának csökkenését is, a tendencia 2015 nyaráig tartott. A kőolaj ár 2015 októberben 50 dollár/bbl árszint körül áll, ugyanekkor az orosz gáz az ukrán-magyar határon 234 USD/ezer m^3 (20 °C-on).

Az EIA [3] óvatos becslést is ad a Henry Hub spot áraira (USD/ezer m^3) 2016 végéig, a new-yorki tőzsde szélső értékei várható alakulása függvényében:

		NYMEX upper	NYMEX lower
2015. december	87	123	60
2016. július	90	138	58
2016. december	105	165	57

Az EIA prognózisa általában elég pontosan be szokott válni. A mostani előjelzésnél is figyelembe vették a kőolaj piacot mozgató valamennyi eseményt és azok kilátásait is. Figyelembe vették azt is, hogy a lenyomott kőolaj árak tartósan leállítják a palaolaj és palagáz kutatásokat és lefékezik a kitermelést.

Az amerikai tőzsdei árakat elég pontosan és nem sok késéssel szokták követni az európai földgáz árak is. Európában a földgáz ára szorosan követi a kőolaj tőzsdei árát. A kőolaj ár alakulását most a szíriai háborús események befolyásolják leginkább, különösen azért, mert az orosz hadsereg is belépett ebbe a háborúba. Szíriában tulajdonképpen a szaud-arábiai és az orosz kőolaj piaci érdekek is összecsapnak a fegyveres konfliktus mögött, ami a világ két legnagyobb olajtermelő országának mérkőzését jelenti. Szaud Arábia is, és Oroszország is azt várja a másik féltől, hogy csökkentse kőolaj kitermelését, és ezzel áremelkedést indukáljon. Ennek érdekében azonban egyik fél sem akar elsőként lépni. Számolhatunk még azzal is, hogy Irán a kiviteli embargó feloldásával megindítja a kőolaj exportját novemberben, és a piaci túlkínálatot fogja növelni. Minden piaci elemző a piaci egyensúlyt 60 USD/bbl árszint körül várja 2016 első felében. Ez az ár még nem elég az oroszoknak az eddigi olajpiaci veszteségek eltüntetésére, ezért további politikai, katonai lépések lehetségesek. Nem elég ez az ár az amerikai palaolaj kitermelés tömeges újra indítására sem.

Irodalom

[1] BP Statistical Review of World Energy June 2015
[2] Spencer Dale: Six remarkable energy Facts from 2014. bp.com
[3] Short-Term Energy and Winter fuels Outlook U.S. Energy Information Administration (2015.10.06.)
[4] Quarterly Report Energy on European Gas Markets first quarter of 2015

25 éves a DUNAGÁZ Zrt.

25 évvel ezelőtt Szabó György, Gáspár Jánosné és Tuba László alapította a Dunagáz Kft.-t, a magyar gázipar felnőtt oktatási, továbbképzési és minősítési igényei kielégítésére. A Kft. mára a gázipari oktatás országosan ismert és megbecsült oktatási részvénytársaságává alakult. Dorogi oktatási központjuk mellett az ország majd minden városában szerveztek már képzést.

Az alapítók célul tűzték ki, hogy az oktatás mellett a Dunagáz egy olyan szakmai műhely legyen, ahol időnként bemutatásra kerülnek az iparág műszaki fejlesztései és a szellemi tevékenységek eredményei.

A 25 év alatt 4100 tanfolyam és továbbképzés, mintegy 80 000 résztvevő jelzi a társaság eredményes munkáját. Szerepe van a sikerben a 200-250 külső előadónak is.

Már az alapítást követő második évben megrendezésre került a Dunagáz Szakmai Napok Konferencia, amely 2015-ben 23. alkalommal került megrendezésre. A rendezvény a szakma legrangosabb konferenciái között szerepel. Ez a fórum egyben egy szakmai találkozó is, amelyre ma nagy szükség van. A legutóbbi konferencia résztvevői megerősítették, hogy a rendezvényre a jövőben is nagy szükség lesz.

A Dunagáz Zrt. az iparág felé mindig is nyitott volt, céljai és sikerei megmutatták, hogy megalapozottan lett az iparág egyik meghatározó oktatási központja. Töretlen fejlődése szemünk előtt bontakozott ki és az elmúlt 25 év szakmai eredményei is magukért beszélnek. Az oktatási feladatok mellett a gáziparban dolgozók minősítése is tevékenységük nagyon értékes része.

A 25. évfordulóra szervezett jubileumi ünnepségen a cég vezetői visszatekintettek az elmúlt időszakra, de egyben kötelezettséget vállaltak arra is, hogy folytassák az eddigi sikeres munkát, folytassák amire képesek és amiért partnerei elismerik.

A kőolaj ármozgás hatása

Dr. Szilágyi Zsombor
gázipari szakértő, drszilagyizsombor@freemail.hu

Mozgalmas év van mögöttünk a kőolaj világpiacán, és még nem jutott nyugvópontra a kőolaj ára. 2014-ben a kőolaj adta a világ primer energiahordozó felhasználásának 32,6%-t, ezzel a legfontosabb fosszilis energiahordozó továbbra is. Az évi 4,2 milliárd tonna körüli fogyasztás döntő többsége a közlekedést szolgálja, de a villamos áram termelésben és a vegyiparban is lényeges szerepe van. Mintegy 20 éves újdonság a kőolaj termelése a nem hagyományos kőzetekből: egyszerűsítve palaolajnak nevezik a tömör kőzetekből mélyfúrással, rétegrepesztéssel kinyerhető kőolajat.

A kőolaj kutatás a világ különböző térségeiben nem azonos intenzitással és technikai eszköztárral folyik. A kutatás szempontjából elég lényeges „fehér" területek vannak még: Közép- Afrikában, Oroszország szibériai területein, Kína nyugati területein, Ausztráliában, Dél-Amerikában. Elég jelentős tolongás indult el az Északi-Sark alatti hatalmas szénhidrogén mezők termelési joga elnyeréséért, az eddigi nemzetközi területeket egyre több ország sajátjának akarja. Az USA indította el a nem konvencionális szénhidrogén készletek kutatását. A palaolajnak nevezett tight oil (és gáz) kutatás eredményes, a kitermelés technikája kialakult, volumene gyorsan nő, a termelés költségei a konvencionális termeléshez közeliek. A palaolaj kutatást a világ többi területén elég lassan indítják. A konvencionális olajtermelésben élenjáró országok éppen piaci érdekeik veszélyeztetését látják abban, hogy a palaolaj újabb országokat is a lényeges olajexportálók közé emelhet.

A világban a kőolaj szinte teljes mennyisége tőzsdéken kel el. A tőzsde érzékenyen reagál a piac jelentősebb változásaira: jelentős, új mezők megtalálására, a kőolajkészletek felduzzadására vagy éppen lecsökkenésére, az ellenőrizhetetlen olajforrások piacra lépésére, de a piac működését érintő nemzeti és nemzetközi konfliktusokra, háborúkra is. A kőolaj mintegy 80%-a hajókon utazik a feladó ország és a fogadó kikötő között.

A kőolaj kereskedelemben vannak hosszú távú kőolaj szállítási szerződések is, egészen kis részben képletes árral beárazva. Jellemző a tőzsdei árak használata, vagy a tőzsdei árból képzett formula ár.

A jellemző kőolaj típusoknak (Brent, WTI, Urali stb.) a tőzsdéken jegyzett ára van. Kőolajat a tőzsdéken azonnali és határidős üzletkötésekkel lehet adni, venni. A megkötött üzletekről közzéteszik a mennyiséget, a szállítás időpontját és az árat. Fontos piaci adat még a felszíni kőolaj és olajtermék készlet, mindenek előtt az USA készlete. Ezek az adatok lényegesen befolyásolják a termelőket és a kereskedőket is.

A kőolaj termelő országok egy csoportja még 1960.-ban megalapította a Kőolaj-exportáló Országok Szervezetét, az OPEC-et. A szervezet székhelye ma Bécsben van, főtitkára Abdalla Salem El-Badri líbiai üzletember. A 12 tagország között a szavazati súly a kitermeléstől függ, így Szaud Arábia a hangadó, a napi 10 millió barrel körüli termeléssel. Szaud Arábia kezdeményezte 2014 őszén az OPEC-ben azt, hogy ne csökkentsék a kitermelést, még az árak esése esetén se.

A világ kőolaj termelésének 42%-át adja az OPEC. Az OPEC-en kívüli olaj exportáló országok között Oroszország a legjelentősebb, szintén 10 millió barrel/nap körüli kapacitással. Az Egyesült Államok a legnagyobb olaj fogyasztó, napi 19 millió barrel felhasználással, legfőbb beszállítója Szaud Arábia.

2012-2013 években a kőolaj világpiaci ára 100...120 USD/barrel között mozgott, a világ eseményei csak egészen kis változásokat indítottak az ár alakulásában. Ehhez az árhoz 90 millió barrel/nap kőolaj felhasználás tartozik. Ez a fogyasztás elbír napi 1 millió barrel kínálati többletet. 2014 nyaráig a termelés és a felhasználás egyensúlyban, a kőolaj készletek viszonylag magasak voltak. 2014. elején egyre nagyobb szerepet játszott az USA kőolaj piacán az ott termelt palaolaj. A palaolaj termelési költségei kicsivel 100 dollár alatt voltak átlagban, vagyis a palaolaj versenyre kelt a közel-keleti, vagy kanadai hagyományos termelésből származó kőolajjal, importot szorított ki. A kínálati felesleg a világban elérte a napi 2 millió barrelt. A világ kőolaj piacának egyensúlyát a felesleg megmozdította.

A 2014. derekán megindult olajár zuhanás egyszerű piaci folyamatnak tűnt: a piacon a kőolaj felesleg áresést eredményez, a termelők visszafogják a termelést, és hamar visszaáll az előző békés állapot. A helyzet azért ennél kicsi összetettebb. Tekintsük át az olajáresés főbb okait:

- A konvencionális olajtermelésben élenjáró országok piaci érdekeik veszélyeztetését látják abban, hogy a palaolaj olyan országokat is a lényeges olajexportálók közé emelhet, amely országoktól nem biztos, hogy elvárható egy koordinált piaci magatartás.
- A 2008-ban kicsúcsosodó gazdasági világválságból az országok többsége még nem tudott teljesen kikászálódni, a termelés, a fogyasztás visszafogott, alacsonyabb a kőolaj igény is. Kína extra gazdasági növekedése is lelassult.
- Az Egyesült Államokban több, mint 1700 fúróberendezés dolgozott, és esélyesnek látszott, hogy tíz éven belül az USA önellátó lesz kőolajból. Az USA kőolaj importja 2014 elejétől látványosan csökkent, a piacon jelentkező felesleget a világ többi térsége nem tudta felvenni.
- Oroszország és Ukrajna háborúja a világot két táborra osztotta, a nagyobbik, békebarát táborhoz tartozik az USA és Szaud Arábia is. Az EU gazdasági embargót határozott el Oroszország ellen, és ehhez sok EU-n kívüli ország is csatlakozott. Kimondatlanul is keresték a nyomásgyakorlás lehetőségét az oroszokra, és ennek egyik területe éppen a kőolajpiac volt.
- A kőolaj piaca évi mintegy 3400 milliárd dollárt jelent. Jelen van ezen a piacon minden ország. Az OPEC döntése volt 2014. novemberben az, hogy akkor sem csökkentik a kitermelést, ha zuhanni fog az olaj ára.
- Oroszország 2014-ben 526 millió tonnát termelt, és ebből 221 millió tonnát exportált. Az export árbevétele kb. 210 milliárd USD volt. Érzékenyen érintette az oroszokat az az embargó, amit a tenger alatti olaj és gáz kitermeléshez szükséges berendezések szállítására hirdettek meg, de a sarkkörön túli kutatási és kitermelési területek sem juthatnak a speciális berendezésekhez. Az olajár eséssel az orosz GDP negatívba fordult: 2014-ben még +0,6% volt, 2015-re a Gajdar Intézet már -6,4%, 2016-ra pedig -2,3% előjelzést ad. Az olaj bevétele feleződött. Az orosz állam kénytelen volt hozzányúlni az arany- és devizatartalékhoz, és egy év alatt 130 milliárd dollár értéket volt kénytelen piacra dobni.
- A kőolaj- és olajtermék készletek maximumon voltak az egész világon.
- Az előző évek 100 dollár/barrel körüli ára ösztönzést adott a kutatás, a kitermelés fejlesztésére a világ minden részén, a beruházások megindultak, részben hosszú távú banki hitelekből. A kitermelés növekedése beindult, a hitelek miatt a termelést erőltetni kellett.
- Az 50 dollár alatti kőolaj ár már majd mindegyik olajtermelőnek súlyos gondokat okozott. Egyes országok a jelentős tartalékaikból ellensúlyozni tudták a veszteséget, mások gazdasága csődközeli állapotba jutott. Az OPEC a szándékos kőolaj feleslegget leszorított árral éppen a gyengébb gazdasággal bíró olajexportálókat akarta térdre kényszeríteni.

- Az USA-ban továbbra is eredményes a kőolaj import csökkentését célzó technikai fejlődés és propaganda: a közúti, a vasúti, a légi szállításban egymás után jelennek meg az újabb, üzemanyag takarékos járművek.
- Az OPEC szeretne nyomást gyakorolni a szervezeten kívüli országokra.

Az olajár esés különös vonzatai:

- Az olajár esésnek köszönhetően többet költünk más célokra: nő a fogyasztás, erősödhet a turizmus, a kereskedelmi cégek forgalma nő. Németországban ezt a hatást 2015-re 20 milliárd dollárra becsülik.
- Az Egyesült Államokban az U.S Energy Information Administration szerint a szállítás és az ipari szektor haszna nő az alacsony üzemanyag árak miatt: szállításé 219 milliárd dollárral, az iparé 72 milliárd dollárral.
- Az olajrészvények ára esik, például az Exxon Mobil részvény 2014. augusztusban 104 USD volt, 2015. januárban 90 USD.
- A nagy olajipari cégek visszafogják kiadásaikat, a kutatásokat minimalizálják, a folyó kitermelési beruházások egy részét leállítják. Például a Shell 15 milliárd dollárral akarja csökkenteni kiadásait 2015-ben. A BP a kitermelési üzletág 20%-os költség csökkentését indította el, ugyanez a csökkentés a Chevronnál 13%.
- Nagy olajipari beszállító cégek létszámcsökkentést terveznek: Schlumberger 9 ezer fővel, Halliburton ezer fővel, Baker Hughes 7 ezer fővel, Suncor Energy ezer fővel.
- Fékezik a palaolaj kitermelési beruházásokat: BHP Biliton 40%-kal kevesebb fúrótornyot üzemeltet az USA-ban, Concho Resources 30%-kal csökkenti a fúrások számát, Chevron Corp. felhagy a palagáz kutatással Lengyelországban.
- A nem hagyományos kőolaj kitermelés hosszabb távon nem tud lépést tartani ilyen mértékű olajár eséssel, a konvencionális termelők visszaszerezhetik piacaikat, tulajdonképpen az OPEC egyik célja ez.
- Az olcsóbb olaj- és földgáz árak lenyomják a villamos energia árát is.
- Az olaj árával együtt mozog még egy sor tőzsdei áru ára is: gabonafélék, színesfémek, arany is, vagyis az olaj hatással van olyan gazdasági ágakra is, amelyek látszólag függetlenek az olajpiactól. 2015 szeptemberben néhány áru a tőzsdén: az alumínium 19,5%-kal, a réz 24,9%-kal, az arany 6,3%-kal, a földgáz 25,3%-kal olcsóbb volt, mint egy évvel korábban. Az olajon kívüli tőzsdei áruk áresése csak rövid távon előnyös, hosszabb távon az érintett cégek összeomlásához vezethet.
- A Gazprom is csökkenti 2015. évi beruházásait: az eredetileg tervezett 38 milliárd dollár helyett csak 30 milliárd jut. Ez a rés majdnem pontosan a Déli Áramlat vezeték elmaradt szakaszának a költsége.
- Irán, amely ország már eddig is több tízmilliárd dolláros veszteséget kénytelen elkönyvelni a gazdasági blokád miatt, most talán az olcsó olaj miatt kieső export bevételei hatására elismerte a nukleáris programja feletti nemzetközi ellenőrzést.
- Venezuelában (OPEC tag) az alacsony olajár kritikus helyzetet okoz: az ország költségvetése nem tudja tolerálni a kőolaj export árbevétel kiesését, ellátási feszültségek vannak, a lakosok elégedetlensége fokozódik. Az állam fizetésképtelensége napirenden van, és most az oroszok sem tudnak segíteni.
- Máris mérhető az alacsony olajárnak az a hatása, hogy a földgáz és olaj tüzelésre egyaránt felkészült villamos erőművek elindították az olajtüzelést, aminek a hatása a földgáz piacon okozhat néhány nemvárt jelenséget.
- Az USA-ban és az eurozónában is eltűnőben van az infláció. Az olajár esése erősíti a deflációt. Ennek következménye az, hogy a bérek sem emelkednek, nem nő a kereslet sem. Az adósság aránya nő a gazdaság teljesítményéhez képest.

Jelentkezett a magyar gazdaságban is a kőolaj ármozgás hatása:

- a benzin ára szorosan követte az olajpiaci eseményeket, még szeptemberben is olcsóbban vehettük az üzemanyagot, mint egy évvel korábban,
- többet fogyaszthatunk, vásárolhattunk a megtakarított üzemanyag költség miatt,
- a hazai kőolaj termelés nagyobb része veszteséges lett,
- többet autózunk az olcsóbb üzemanyaggal, több a baleset, a biztosítók növelik a biztosítási díjakat,
- a gabona exportunk is megérezte az olaj áresés hatását,
- a MOL-nak is veszteséget okoz az alacsony kőolaj ár. Az 50 dollár/bbl kőolaj áresés akár 100 milliárd forinttal is ronthatja a MOL nyereségét. A MOL a fejlesztési beruházások újra gondolására kényszerül, tekintettel a hitelezési környezet romlására is,
- akár 1%-kal is magasabb lehet a 2015. évi GDP,
- csökken az állam ÁFA bevétele az alacsony üzemanyag árak miatt,
- csökken a hazai olajtermelés után fizetett bányajáradék: mintegy 10 milliárd forinttal,
- olcsóbb lesz az import földgáz, az import áram ára csökkenhet,
- a megújuló energiahordozók terjesztését célzó beruházások megtérülése romlik a gáz- vagy olajtüzeléssel szemben,
- lemondhatunk a Déli Áramlat számunkra előnyös vonzatairól: tranzit díj bevétel, építési majd üzemeltetési feladatok, a hazai föld alatti tárolók kapcsolódása a vezeték üzemeltetéshez. Szerencsére sikerül a Déli Áramlattól függetlenül a hazai felesleges földgáz tároló kapacitások egy részét a Gazpromnak átadni.

Olajár kilátások

Szinte minden gazdasági elemző cég készít prognózist a kőolaj árának 2015. évi alakulásáról. A prognózis alapja a határidős tőzsdei üzletekben szereplő árak. A prognózisokat a piaci események alapján gyakran korrigálják. 2015. februárban a Brent olajfajta éves átlagárára az elemzők 60..80 dollár/barrel ársávot adtak meg, figyelembe véve az olajpiacon lévő átlagosan 90 napos fogyasztásnak megfelelő (kőolaj- és kőolajtermék) készleteket, a tőzsdei üzletkötések szinte korlátlan rugalmasságát, a gazdaság fejlődését. Feltételezik ugyanakkor, hogy az arab/iszlám világban fennálló fegyveres konfliktusok nem eszkalálódnak, az ukrán-orosz harcok elcsendesednek.

Már a 2014-re jellemző 100...110 USD/bbl (minden árat a Brent minőségre adjuk meg) átlagár is több olajtermelő ország költségvetésének gondot okozott. Ezt a gondot azonban a költségvetések korrekciójával (takarékossággal) és a tartalékok igénybe vételével különösebb katarzis nélkül túlélték. 2014. harmadik negyedévben a kőolaj ár gyors zuhanása indult el, és csak 2015 nyarára állt be az 50 dollár körüli szintre. Elemzők 2015 második felére átlagosan 60 USD/bbl árat jósolnak, a hosszabb távú határidős tőzsdei kötések alapján. A Bloomberg elemzése alapján az amerikai Citigroup csoport 2015. év átlagára a Brent esetében 63 USD/bbl árat jósol. Ez az ár már minden jelentősebb kőolaj termelő ország bevételeit keményen érinti, az állami kiadások erős megnyirbálására kényszeríti. Ugyanakkor egyes TTF (holland tőzsde) szakértők 2015. végére a Brent 100 USD/bbl árszintjét várják.

A prognózisok készítői még nem kalkulálták az elhúzódó és egyre súlyosabb szíriai háborút, azt pedig különösen nem vehették figyelembe, hogy az USA után Oroszország is belép ebbe a háborúba. Oroszország a szaudiak által támogatott ellenzéki erők ellen lépett harcba, ezzel Szaud Arábia érdekeit sérti. Az oroszok lépése mondhatni tudatosan Szaud Arábia ellen szól, mert az oroszoknak nagyon fontos volna a szaudiak áremelésre kényszerítése, amely szándékra még ráerősít az irániak friss aktivitása az olajpiacokon, amely alapvetően az oroszoktól fog piacot elvenni.

Nehéz ma az olajár jövőjéről beszélni, a sok súlyos politikai és gazdasági ütközés miatt.

A TECLENERGY project, amely technológiai és jogi kérdéseket tartalmazó képzési modulokat fejleszt főként a török energia szektorban érdekeltek számára

LLP-Leonardo da Vinci, Innovációs Transzfer Pályázat
2013-1-[TR1-LEO05-47545]

a következő résztvevőkkel:
Török partnerek:
Renewable Energy from the Ministry of Energy (Törökország)
Gazi University Law Department (Törökország)
OSTİM – Organized Industrial Zone (Törökország)

Európai Uniós Partnerek:
Centre of Renewable Energy Sources and Saving – CRES (Görögország)
University of Oradea, Department of Energy Engineering (Románia)
Szenzor Hungaria Kft. (Magyarország)
BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék (Magyarország)

A világ minden területén törekednek a nagy hatékonyságú energetikai technológiák elterjesztésére, valamint a megújuló energiák térnyrésének növelésére, a hosszú távon fenntartható energia ellátás megvalósítása érdekében. A legtöbb országban ezt valamilyen ösztönző rendszerrel is segítik a gyorsabb térnyerés elérése érdekében. Ennek ellenére a folyamatok nem a várt mértékben haladnak. Az okok között többek között az új megoldásoktól való idegenkedés, a magasabb beruházási költség finszírozási lehetőségeinek és a műszaki, valamint jogi előírásoknak való megfelelés nehézségei is szerepelnek. A pályázat keretében elkészülő oktatási anyag ezen a problémán próbál segíteni azáltal, hogy egységes szerkezetben tárgyalja a különböző energiahatékonysági és megújuló energia alkalmazásána alapuló technológiák bevezetésének műszaki, pénzügyi és jogi hátterét, összefüggéseit, összegyűjtve az előnyöket és hátrányokat.

A TECLENERGY pályázat célja, hogy segítse az energia hatékonysági és megújuló energia technológiák elterjesztését Törökországban. Ezek a témák nagyon népszerűek világszerte. Törökország szintén vonzza a befektetőket ezen a területen is, de a török piac és körülmények különböznek mind az Európaitól, mind más régiókétól. Többek között emiatt Törökországban az ilyen irányú fejlesztések elmaradnak az Európai Unióban, valamint más fejlett régiókban tapasztalható fejlődésektől. Továbbá az energia szektorban rendszeresen jelennek meg új innovációs megoldások. Az érdekelteknek ismerniük kell az elérhető technológiákat és az alkalmazásuk előnyeit-hátrányait és feltételeit.

A TECLENERGY pályázat keretében létrehozott oktatási modulok ahhoz nyújtanak segítséget, hogy az érdekeltek megismerjék ezen új technológiák törökországi alkalmazásának műszaki, pénzügyi és jogi feltételeit.

A projekt egy 2006-ban sikerrel zárult korábbi EU-s LLP projekten alapul, amely FIP-TREET név alatt futott és a célországok az EU tagországai voltak.

Első lépésként az utóbbi évtizedben létrejött fejlődés és a török piac specialitásainak felmérése történt, majd ezek alapján kerültek kiegészítésre a korábbi anyagok. Az oktatási anyagok első lépésben angol nyelven, majd törökre fordítva kerültek elkészítésre.

Az anyagok elérhetők lesznek nyomtatott és elektronikus formátumban is, támogatva a korszerű e-learning megoldásokat is.

A pályázat az elkészült anyagok felhasználásával szervezett oktatások szervezésével végződik.

További információk a pályázat honlapján: http://www.teclenergy.com/ , valamint a résztvevők honlapján érhetők el: http://www.energia.bme.hu/

Elhunyt Büki Gergely

Büki Gergely 1954-ben szerzett gépészmérnöki oklevelet és egész pályafutása alma materéhez, a Budapesti Műszaki Egyetemhez kötődött. Munkásságát a Gépelemek tanszéken tanársegédként kezdte, majd a Lévai András által alapított Hőerőművek tanszékre került, ahol, a harmincas éveiben már tanszékvezető-helyettes lett. A több tanszék összevonásából alakult Hő- és Rendszertechnikai Intézetben, annak alakulásától, igazgatóhelyettes. 1984-ben megszerzi a műszaki tudomány doktora címet, 1985-től egyetemi tanár. 1992-ben kezdeményezésére alakul meg az Energetika Tanszék, amelynek 1996-ig tanszékvezetője és a 2002. évi nyugdíjazásáig egyetemi tanára.

Egy ciklusban a Gépészmérnöki Kar tudományos dékánhelyettesi tisztségét is ellátta, a főiskolai képzés kiszélesedésének időszakában a főiskolai képzést felügyelő bizottságot vezette. Jelentős szerepet játszott a főiskolai szintű, majd az okleveles energetikai mérnök képzés létrehozásában és irányításában.

Lévai András professzor hagyományait folytatva, magas színvonalon végezte tudományos és oktató munkáját. A tudományos munkája az energetika minden területét átfogta, kiemelten a kapcsolt energiatermelés műszaki, termodinamikai és gazdasági kérdéseire fókuszált. Az utóbbi években az energetikán belül elsősorban a megújuló energiaforrások szerepének, az energia megtakarítás lehetőségeinek és az állami támogatás reális módjának és mértékének kérdéskörével foglalkozott.

Hosszú egyetemi pályafutása alatt számos tantárgyat dolgozott ki és adott elő, az energetika fejlődésének megfelelően folyamatosan fejlesztve, átdolgozva a tananyagot. Gazdag publikációs tevékenységéből ki kell emelni a Műegyetemi Kiadónál megjelent tankönyveit (Fűtőerőművek és távhőrendszerek, 1980; Energetika, 1997; Erőművek, 2004; Kapcsolt energiatermelés, 2007) amelyek a mai napig az energetikai mérnök képzés fontos és meghatározó alapművei.

Az egyetemi oktató kutató munka mellett

1932-2015

számos tudományos testület és társadalmi egyesület elismert tagja és vezető tisztségviselője. Két ciklusban, 1990-96 között az MTA Energetikai Bizottságának elnöke, majd egyik albizottságának vezetője. Különböző vezető tisztségeket töltött be az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesületben, a Magyar Energetikai Tár-saságban, a Magyar Kapcsolt Energia Társaságban és a Magyar Mérnöki Kamara Hő- és Villamosenergetikai Tagozatában. Két évtizeden keresztül felelős szerkesztője, főszerkesztője az energetikai szakma rangos lapjainak, az Energia és Atomtechnikának, majd a Magyar Energetikának.

Jelentős szerepet játszott az energiaipar rendszerváltás utáni átalakításában, 1992-93-ban, annak részvénytársasággá alakulásakor a Magyar Villamos Művek igazgatóságának elnöke, majd 1993-96 időszakban a KÖGÁZ igazgatósági tagja.

Az energetika szakterületén az oktatásban, a szakmai szervezetekben és szakfolyóiratok szerkesztő bizottságában kifejtett több évtizedes példamutató és tudásmentő tevékenységéért a Magyar Gépészmérnökért, Gruber Díj kitüntetést 2010-ben, a Magyar Köztársasági Érdemrend tisztikeresztje kitüntetést 2011-ben kapta meg.

Halálával az energetikusok közössége több generáció által tisztelt és nagyra becsült munkatársát, tanítómesterét veszítette el. Emlékét megőrizzük, nyugodjék békében!

47. Nemzetközi Gázkonferencia és Szakkiállítás

Siófok, 2015. november 10-11.

A Nemzetközi Gázkonferencia évtizedek óta nagy sikernek örvend a hazai földgázipari szereplők körében. Az évente megrendezett eseményen a magyar és az európai gázipar meghatározó személyeinek előadásai révén a résztvevőknek lehetősége nyílik szakmai eszmecserét folytatni a gázpiac aktuális helyzetéről, meghallgatni a legújabb trendeket és közösen értelmezni a folyamatban lévő változásokat.

A Magyar Földgázkereskedő Zrt. volt a főszervezője a 47. Nemzetközi Gázkonferencia és Szakkiállítás kétnapos rendezvényének. Az 510 résztvevő az előző évekhez hasonló színvonalas szakmai programon vehetett részt, a szintén megszokott elegáns környezetben.

A résztvevők többsége a rendszerüzemeltetőket, a kereskedőket, az egyetemes szolgáltatókat képviselték, de ott voltak a legnagyobb ipari gázhasználók képviselői is. Az érdeklődés minden ülésen nagy volt, de sajnos, az állandó időcsúszás miatt nem volt lehetőség a hallgatóság minden kérdését meghallgatni, megválaszolni.

A rendezvény hallgatói között az energetikáért felelős minisztériumok, a szabályozó hatóság néhány képviselője is jelen volt, de a plenáris ülés két nyitó előadásán kívül hozzászólást nem vállaltak. Most sem volt senki illetékes jelen a kormány részéről a szekció üléseken, a szabályozási anomáliák, a földgázpiac jövője részletkérdései megvitatásánál.

A konferencia szakmai tartalma előkészítésében részt vettek a házigazdán kívül az ETE, az ENKSZ, az E.ON, az FGSZ, a FŐGÁZ, a Magyar Földgáztároló képviselői is. A rendezvény színvonalán nem érződött, de a gázipar érdekei körül folyó előadásoknál és hozzászólásoknál érződött a gázpiaci szereplőket összefogó, lobbi erővel rendelkező szervezet hiánya.

Tíz kiállító mutatta be termékeit, szolgáltatásait és eredményeit a rendezvény előcsarnokában. A kiállítók között is hangsúlyos voltak az informatika hardver és szoftver termékei. 24 előadás hangzott el, a szekció vezetők témaindító előadásával együtt. Külföldi előadók a Szlovák Gáz és Olaj Szövetségtől, a horvát Prvo Plinarsko Drustvo-tól és a Statolil cégtől érkeztek. Erősödött az előadások körében az informatika.

Az előadások plenáris ülésen és három szekcióban zajlottak. A plenáris ülés előadásai érdekesek, színvonalasok voltak. Elsőként dr. Aradszki András államtitkár adott áttekintést az ország földgázipari stratégiájáról. A stratégia három oszlopa: ellátásbiztonság, fenntarthatóság és versenyképesség. Ezek a fő célok vezetik a Kormányt a földgázpiacot meghatározó szabályozások készítésében. Megállapította, hogy a célokkal összhangban van a 2015-16 téli felkészülés is: a tárolt gázmennyiség mellett biztonságos és zavartalan ellátásra számíthatunk.

A plenáris ülés második előadója dr. Grabner Péter úr, a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal energetikai elnökhelyettese volt. Az EU által kiadott Ballancing Network Code alapján elkészített hazai piac szabályozások operatív változásait mutatta be: átállás új gázév időszakra, kWh alapú elszámolásokra és az új korrekciós elszámolásokra átállást.

A plenáris ülésen hallhattuk Zámbó Balázs előadásában az ENKSZ tulajdonosi viszonyai, stratégiája és működése bemutatását. Az ENKSZ felkészül arra, hogy 2016. végére minden egyetemes szolgáltatásra jogosult felhasználót biztonságosan ellásson.

A szekció üléseket az infrastrukturális kérdések, a földgáz kereskedelem és az aktuális műszaki kérdések megvitatására szervezték. A szekciókban elhangzott 16 előadás átfogta a gázipar aktuális problémáit, és vázolták a különböző gázpiaci szereplők jövőre vonatkozó elképzeléseit.

A konferencia egy sor nyitott kérdést hagyott az állam gázpiaci szándékát illetően, ezek megválaszolása a gázpiac egészét lényegesen befolyásolhatják.

Szilágyi Zsombor

IYCE'15 – 5th International Youth Conference on Energy 2015

Az Energetikai Szakkollégium a 2007-es évben hagyományteremtő céllal indította útjára az „International Youth Conference on Energy" (IYCE) nevű, angol nyelvű nemzetközi ifjúsági konferenciát. Hasonló jellegű, célzottan fiatal kutatók, egyetemi és PhD hallgatók számára korábban nem rendeztek konferenciát hazánkban. Azóta a konferencia töretlen sikerrel kerül megrendezésre kétévente hazai és külföldi helyszíneken. 2007-ben és 2009-ben Budapest adott otthont a hiánypótló rendezvénynek, majd 2011-ben a konferencia történetében először külföldi helyszínen várta az érdeklődőket, Portugáliában, Leiriaban. 2013-ban a konferencia visszatért Magyarországra, azonban ekkor már a Balatonpart legnagyobb városa, Siófok adta a konferencia helyszínét.

A sikertörténet folytatódott: az IYCE'15 ismét külföldön, az olaszországi Pisa-ban került megrendezésre 2015. május 27-30. között, melynek társszervezője az olasz Nuclear and INdustrial Engineering Srl (N.IN.E) volt. A konferencia helyszínéül az olaszországi Nemzeti Kutatótanács, a CNR pisa-i kongresszusi központja szolgált. Az esemény szakmai színvonalához a korábbi évekhez hasonlóan az IEEE IAS és az IEEE PES is hozzájárult, e két szervezeten túl a CNR és a CIGRÉ szakmai támogatása növelte a konferencia nemzetközi presztízsét. A résztvevők plenáris előadások keretében többek között Frede Blaabjerg, az Aalborgi Egyetem professzorát hallgatták meg a megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos szakmai kihívásokról, de az Európai Bizottságtól is érkezett előadó Andrea Strachinescu képviseletében. A konferencia utolsó napjára tervezett üzemlátogatás során pedig lehetőség volt megtekinteni a Larderello mellett működő geotermikus erőművet, mely a világon elsőként kezdett el üzemelni.

A konferencia lehetőséget nyújtott a fiatal szakemberek munkájának nemzetközi szintű ismertetéséhez, továbbá személyes kapcsolatok létesítéséhez maguk az előadók és a rendezvényen megjelenő, az ipart és az egyetemeket képviselő neves szaktekintélyek között. A konferencia sikerét jól jelzi a mintegy 190 résztvevő, akik közel 35 országból érkeztek. Az Energetikai Szakkollégium reméli, hogy 2017-ben innen folytatódik a sorozat töretlen fejlődése.

Nyári egyetem az Energetikai Szakkollégium szervezésében

SAE² – Summer Academy on Energy

2014 nyarán első alkalommal rendezte meg az Energetikai Szakkollégium nemzetközi, energetikai témájú nyári egyetemét, a SAE Summer Academy on Energy-t. A rendezvény célja, hogy évente hazánkba invitálva Európa és a világ más műszaki egyetemeinek kiemelkedő hallgatóit, serkentse a nemzetközi szakmai kapcsolatok kiépítését és lehetőséget nyújtson a hallgatóknak szakmai ismereteik bővítésére, azok próbára tételére.

A nyári egyetem minden évben más, energetikai szempontból kiemelkedően fontos témára összpontosít. A Szakkollégium célja az, hogy a több napos rendezvény előadásaival, üzemlátogatásaival, illetve projektfeladatával az adott területhez kapcsolódó, a későbbieken felhasználható szakmai tudást adjon a résztvevőknek.

A nyári egyetem lebonyolítását teljes mértékben a Szakkollégium csapata végzi, míg a szakmai színvonalat a Szakkollégium egyetemi, ipari és egyéb szakmai kapcsolatai biztosítják. A nyári egyetem előadásainak és a csapatfeladatok elvégzésének helyszíneit a BME két tanszéke, az Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék, illetve a Villamos Energetika Tanszék biztosította, míg a résztvevők elszállásolása a hallgatói kapcsolatépítést és a közös munkát lehetővé tévő Kármán Tódor Kollégiumban történt.

SAE² 2014 – Future of the Fuels

Az első rendezvény 2014 nyarán sikeresen megrendezésre került, a négy napon keresztül tartó programon összesen több mint 30 hallgató vett részt.

Az első nyári egyetem az üzemanyagok jövőjének témakörére összpontosított, résztvevőként pedig főként alap- és mesterszakos hallgatók érkeztek, és a Szakkollégium igyekezett minél több – többségében európai – egyetem szakmailag kapcsolódó tanszékére eljuttatni a nyári egyetem hírét, és a jelentkezési felhívást. A szervezőkön kívül 19 külföldi és 9 BME-s, szakkollégista hallgató vett részt a programon, akik összesen 13 különböző országot képviseltek.

Előadások		
Előadók	**Szervezet/ cég**	**Téma**
Gyenes Péter	PwC	Global fuel consumption in light-duty vehicle transportation
Siposné Molnár Tímea	Bay Zoltán Nonprofit Ltd.	Introduction to LCA
Dr. Holló András	MOL Group	Future of transportation and fuels
Domanovszky Henrik	MGKKE	Alternative gaseous fuels
Jászay Tamás	ELMŰ	Past, present and future of the E-mobility
Balogh Attila	ABB	EV Charging infrastructure, Intelligent charging solutions
Dr. Nagy Zoltán	Linde	Hydrogen as a new fuel. Innovation & Experience.
Wahl István	MABI-BUS Kft. (member of the evopro group)	Way forward to zero emission in public transportation
Kerényi László Sándor	BKK	Long range Sustainable Urban Mobility Plan of Budapest
Üzemlátogatások		
A Százhalombattai Olajfinomító megtekintése, ahol lehetőség volt a bioüzemanyagokoz kapcsolódó K+F részleg megtekintésére is.		
A dunaföldvári bioetanol gyár bejárása.		
Esettanulmány		
Életciklus-elemzés 5-6 fős csapatokban, szoftveres környezetben, folyamatos konzultációs lehetőség mellett.		

SAE² 2015 – Plant your Power Plants

2015. augusztus 23-28. között került megrendezésre a második nyári egyetem Power Grid – Plant your Power Plants címmel. Az idei rendezvény az országos villamosenergia-rendszerre, illetve annak szereplőire összpontosított. A szervezőkön kívül 15 külföldi és 13 szakkollégista hallgató vett részt a programon, akik összesen 13 különböző országot képviseltek.

Az előadások esettanulmányának a tematikája országos erőművi portfólió tervezés volt, melyhez kapcsolódtak az előadások tematikái is. A feladat során minden csapat egy megadott természeti

erőforrásokkal illetve környezeti adottságokkal rendelkező, fiktív ország villamosenergia-rendszerének erőmű portfólióját tervezte meg, az egyszerűsített gazdasági számításokat is beleértve. A csapatok eredményeiket az utolsó napon prezentálták, illetve tették fel kérdéseiket egymásnak a különböző megoldásokkal kapcsolatosan.

Előadások		
Előadók	**Szervezet/ cég**	**Téma**
Dr. Kiss Csaba	Alstom Hungária Zrt.	Introduction into Conventional Power Plant Technologies
Tasnádi-Tulogdi Levente	ALTEO Nyrt.	Renewable Energy Sources
Kovács Péter	MAVIR Zrt.	Power Grid, Energy Supply and Demand, Transmission Network
Dr. Vokony István	E-ON Hungária Zrt.	Energy Storage
Lengyel András	PwC	Energy Economics I.

Előadások		
Előadók	**Szervezet/ cég**	**Téma**
Dr. Korényi Zoltán	BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék	Energy Economics II.
Kottner György	MVM ERBE Zrt.	Environmental Concerns
Üzemlátogatások		
A BME Energetikai Gépek és Rendszerek tanszékéhez tartozó Megújuló Laboratórium megtekintése		
A Kelenföldi Erőmű megtekintése		
A Hulladékhasznosító Mű megtekintése		
A Művészetek Palotájának, illetve épületgépészeti megoldásainak megtekintése		
Esettanulmány		
Egy fiktív ország erőműportfóliójának alapszintű összeállítása, 5-6 fős csapatokban, folyamatos konzultációs lehetőség mellett.		

Települések hőellátása helyi erőforrások felhasználásával

2015. október 8-án a Magyar Tudományos Akadémia Székházában „Települések hőellátása helyi erőforrások felhasználásával" címmel rendezett konferenciát az MTA Környezettudományi Elnöki Bizottsága és Energetikai Tudományos Bizottsága, a Magyar Mérnöki Kamara, a Magyar Távhőszolgáltatók Szakmai Szövetsége és a Magyar Termálenergia Társaság.

A konferencia fővédnökségét **Áder János** köztársasági elnök vállalta, védnökei voltak **Lovász László,** az MTA elnöke és **Pálinkás József,** az NKFI Hivatal elnöke, akik köszöntőt és nyitó előadást tartottak.

Pálinkás elnök úr előadásában kifejtette, hogy az EU 2014-2020 költségvetési időszakában jelentős forrás áll rendelkezésre a kutatásfejlesztésre és a gazdaság fejlesztésére. Ezt befektetési lehetőségnek kell tekinteni, felelősségteljesen, a világpiacon versenyképes termékek fejlesztésére, a gazdaság fellendítésére kell felhasználni. Az energetikai fejlesztések, köztük az energiafelhasználás hatékonyságának növelését és a megújuló energiaforrások hasznosítását segítő berendezések is ilyenek lehetnek.

Kurunczi Mihály − Szanyi János − Czupy Imre *„Települési hőellátás helyi energiával – célok és lehetőségek"* címmel tartott előadásukban ismertették a hazai hőellátás jelenlegi energiaforrás szerkezetét, átalakításának javasolható forgatókönyvét. Mindezt a helyi, megújuló energiaforrások hazai potenciáljának bemutatásával, tényleges bekerülési költség kalkulációkkal, támogatási struktúrával támasztják alá. Javaslatokat tesznek azon intézkedésekre, amelyek megvalósítása esetén jelentős mértékben megváltoztatható a települési hőigények kielégítésének energiahordozó szerkezete, csökkenthető hazánk energiafüggősége, összefoglalják a megvalósítás előnyeit és korlátait.

Büki Gergely[1] **− Orbán Tibor** *„A települési hőellátás helyi megoldásai, egyedi és távhőellátás"* című, Orbán Tibor által megtartott előadásban a szerző összefoglalta a hőellátás lehetséges helyi megoldásait, az egyes megoldások energetikai- és költség-hatékonyságát, majd összehasonlította a versenyképesség szempontjából, különös tekintettel az egyedi és távhőellátásra. Az összehasonlítás tekintettel volt a nehezen költségesíthető szempontokra is.

Matuz Géza *„Épületek energiahatékonyság-növelésének tapasztalatai"* című előadása a Nemzeti Energiastratégiában összefoglalt adatok felhasználásával, bemutatta a hazai épület állomány szerkezetét és állapotát. A jelenlegi helyzetből kiindulva, felújítási mintacsomagokat kialakítva bemutatta, hogy az egyes épület típusoknál átlagban milyen megtakarítást lehet elérni, mennyibe kerülne a felújítás, és mennyi lenne a felújításra fordított költségmegtérülési ideje.

Az előadás ismerteti az épületek energiafelhasználásának csökkentési lehetőségeit, majd bemutatja, hogy a 2020-ra tervezett célérték elérése milyen munkaerő piaci, illetve adóbevétel potenciállal jár, mi lesz a hatása a települések energia felhasználására.

Zanatyné Uitz Zsuzsanna *„Takarékosság és hatékonyság a települési hőellátásban"* címmel a távhőszolgáltatás esetében Kaposvári tapasztalataira alapozva, de országos kitekintéssel mutatott rá az épületek hőfelhasználásának csökkentése mellett a piacbővítés fontosságára. Kiemelte, hogy a távhőrendszerek a nemzeti vagyon részét képezik, a legkülönbözőbb energiahordozók hasznosítását környezetkímélő módon teszik lehetővé.

Ádám Béla *„Hőszivattyúzás"* című előadásában rövid áttekintést adott a hazai hőszivattyús technológia alkalmazásának elmúlt 15 éves fejlődéséről, rámutatott a technológia alkalmazásának alapvető feltételeire, amelyek meghatározzák az adott helyi felhasználás hatékonyságát.

Felhívta a figyelmet, hogy a hőszivattyúzás hatékonyságának növelésében számos lehetőség rejlik, s ezekre példákat ismertetett. Számba vette azokat a jogszabályi változtatási lehetőségeket is, melyek segíthetik az alacsony hőmérsékleten rendelkezésre álló energia hasznosításának fokozott elterjesztést. Ennek eredményeként az előadás összefoglalta azokat a megújuló energiaalkalmazási és CO_2 csökkentési potenciálokat is, melyek egy kiszámítható pályázati rendszerrel elérhetők 2020-ig.

Garai Zsolt *„Biomassza-hasznosítás"*-ra ismertetett jó, mintának tekinthető példákat. Rámutatott azokra a lehetőségekre, amelyek a hőellátásában a településeken eredményesen hasznosíthatók.

Nagy László *„Megújuló energiaforrások kombinált hasznosítása Vácrátóton"* címmel a megújuló energiaforrások hasznosításában sikeres projektnek tekinthető, a termálvíz hőjét hasznosító rendszert mutatta be. A rendszerhez a csúcshőigények kielégítésére faapríték tüzelésű kazánt illesztettek. Az előadó rámutatott a kombinált hasznosítás lehetőségére, ugyanakkor arra is, hogy a hőforrások nem kellően körültekintő összehangolása túlméretezett berendezések beszerzéséhez vezethet.

Zsebik Albin a konferencia lapszámunkban is közzé tett állásfoglalás-tervezetét ismertette. Felhívta a figyelmet a helyi erőforrások hasznosításának fontosságára, a sürgős tennivalókra.

A konferencia levezető elnöke Szarka László az MTA KÖTEB „Jövőnk a Földön" Albizottság elnöke volt.

[1] A rendezvény egyik kezdeményezője és szervezője rövid idővel a rendezvény előtt hunyt el.

Tisztelt Kollégák !

Az alábbi féléves programunkra külön fel szeretném hívni a figyelmet, elsősorban annak sokrétűségére és az előadók szakmai hátterére.

Ezek az előadások nekünk, idősebbeknek a tájékozottságunk fenntartásához nagy segítséget nyújtanak. Sokszor azonban úgy érezzük, hogy az aktív szakembereknek munkájukhoz, általános tájékozottságukhoz is igen hasznos lenne ezek megismerése. Ezért kérem a tisztelt olvasókat, hogy terjesszék a programot szakmai és ismeretségi körükben, hogy minél többen vegyenek részt az előadásainkon. A legtöbb előadó engedélyével az előadásokat le is lehet tölteni és így tovább hasznosítani.

Tisztelettel:
Szabó Benjamin

Kedves Tagtársunk!

Szíves tájékoztatásul közöljük az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület Szenior Energetikusok Klubjának 2016. I. félévi programját. A program végrehajtása során figyelemmel leszünk arra, hogy a résztvevőket megismertessük a Magyar Elektrotechnikai Múzeum eredményes működésével.
Klubunk nyitott, minden érdeklődőt szívesen látunk az előadásunkon függetlenül attól, hogy tagja-e valamely szakmai egyesületnek vagy sem.

I. 21. **Dr. Molnár László** az ETE főtitkára
Az Európai Unió energiaunió terve
KLUBNAP
Házigazda: Bárdy László

I. 28. **Dr. Kádár Pál** dandártábornok,
a HM Tervezési és Koordinációs Főosztály vezetője
A Magyar Honvédség szerepe a katasztrófavédelemben
Házigazda: Maléth Márton

II. 4. **Bíró István** villamosmérnök,
a MEDICOR Művek volt vezérigazgató-helyettese
Az elektronikus röntgengenerátor megszületése a MEDICOR-ban
Házigazda: Szabó Benjamin

II. 11. **Dr. Simon Róbert**
Az iszlámtól az iszlámizmusig
Házigazda: Lengyel János

II. 18. **Dr. Antal Ildikó** az Elektrotechnikai Múzeum vezetője
A 40 éves múzeum kiemelkedő értékei
Házigazda: Szabó Benjamin

II. 25. **Felsmann Balázs**
a Corvinus Egyetem docense, energetikai szakértő
Atomerőmű projektek Európában
Házigazda: Bárdy László

III. 3. **Németh Bálint, Hartmann Bálint, Pintácsi Dániel és Péter Norbert**
az Energetikai Szakkollégium volt elnökei és jelenlegi elnöke
Módszerek és eszközök az energetikai oktatásban
Házigazda: dr. Szondi Egon János

III. 10. **Dr. Kiss Csaba,** az ALSTOM erőműves igazgatója
Nemzetközi erőműépítési trendek
Házigazda: Bárdy László

III. 17. **Mőcsényi Mihály** a Corvinus Egyetem Emeritus tanára
Eszterháza története
Házigazda: Bárdy László

III. 24. **Módos Géza László,**
az MVM GTR Gázturbinás Erőmű Zrt. vezérigazgatója
A tartalék gázturbinás erőművek üzemviteli tapasztalatai
Házigazda: Szabó Benjamin

III. 31. **Pálfy Miklós** a SOLAR SYSTEM Kft. igazgatója
A fotóvillamos napenergia-hasznosítás helyzete
Házigazda: Bárdy László

IV. 7. **Dr. Almár Iván** csillagász
„Mi újság a világűrben”
Házigazda: Szabó Benjamin

IV. 14. **Póka Gyula** villamosmérnök
Védelem, amely nélkül nincs villamosenergia-szolgáltatás (történelmi áttekintés)
Házigazda: Forgács János

IV. 21. **Kimpián Aladár** ny. főmérnök, a TriódArt Bt. ügyvezetője
Ausztrália villamosenergia-rendszere: egy kontinensnyi szigetüzem?
Házigazda: Szabó Benjamin

IV. 28. **Dr. Petschnig Mária Zita** közgazdász,
a Pénzügyi Kutató Zrt. kutatója
A magyar gazdaság helyzete és kilátásai
Házigazda: Elek János

V. 5. **Dr. Szentgyörgyi Zsuzsa** villamosmérnök, szakíró
Egy magyar villamosmérnök(nő) vallomása szakmájáról, életéről
Házigazda: dr. Szondi Egon János

V. 12. **Szakmai kirándulás**
(később kerül meghatározásra)

V. 19. **Lenkei István**
a Paksi Atomerőmű vezérigazgatójának műszaki tanácsadója
A Paksi Atomerőmű I. üzemeltetésének távlati tervei
KLUBNAP
Házigazda: Bárdy László

Az ülések helye és ideje:
Magyar Elektrotechnikai Múzeum,
Zipernovszky terem II. emelet
Budapest, VII. Kazinczy u. 21., 10 óra

Szabó Benjamin s.k.
a Szenior Energetikusok
Klub elnöke

Jegyezze elő naptárába!

2016. MÁRCIUS 9-10.

KLENEN'16

KLÍMAVÁLTOZÁS
ENERGIATUDATOSSÁG
ENERGIAHATÉKONYSÁG

XI. KONFERENCIA ÉS KIÁLLÍTÁS

aeecenter.org | ete-net.hu | eszk.org | virtualiseromu.hu | kic-innoenergy.com

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

Az energiahatékonysági törvény végrehajtásának tapasztalatai, energetikai audit eredmények bemutatása

VÁRJUK JELENTKEZÉSÉT!

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

Devecsery László: Csengettyűk szavával...

**Csengettyűk szavával
Karácsony csilingel
csengettyűk szavával...
Karácsony kopogtat
hóbundás kabátban;
meghitt meleg lobog
minden kis szobában.
Karácsonyfa hinti
mireánk a fényét,
adjon világunknak
hű, emberi békét!
Karácsony csilingel
csengettyűk szavával...**

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

ENERGIAGAZDÁLKODÁS