

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

55. évfolyam 2014. 4. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat



Konferencia az ETE ajánlásával

46. Nemzetközi

Gázkonferencia és Szakkiállítás

**2014. november 6-7.
Siófok, Hotel Azúr******

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



A hatékony energiagazdálkodás mindnyájunk érdeke és kötelessége!

Hazánk a II. Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervben fogalmazta meg az Európai Bizottság részére a végsőenergia-megtakarítást elősegítő nemzeti célkitűzéseket és intézkedéseket a 2008-2016 időszakra.

Ahhoz, hogy a kitűzött célokat teljesíteni tudjuk, össze kell fognunk.

Fontos, hogy ki-kí a saját munkakörében tegyen az energiafelhasználás gazdaságosságának növeléséért.

Fontos, hogy beszámoljunk eredményeinkről, megosszuk tapasztalatainkat.

Fontos, hogy az energiahatékonyság növelésével kíméljük környezetünket.

Ezt kívánjuk segíteni a

X. Klímaváltozás – Energiatudatosság – Energiahatékonyság

KLENEN'15

KONFERENCIA szervezésével

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

**Energiahatékonysági minta-
projektek bemutatása,
tapasztalatcsere**

**Jegyezze elő naptárába,
Kecskemét, 2015. március 10-11. - KLENEN '15**

**További információ és jelentkezés
a klenen.org honlapon**

ENERGIAGAZDÁLKODÁS

Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata

55. évfolyam 2014. 4. szám

A magyar energiagazdaság problémáit tárgyaló tudományos és gyakorlati folyóirat

TARTALOM • CONTENTS • INHALT

Főszerkesztő:

Dr. Gróf Gyula

Olvasó szerkesztő:

Dr. Bihari Péter

Szerkesztőség vezetői:

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. Stróbl 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 szerkesztőség címe:

BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

1111 Budapest, Műgyetem 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

Magyarország legnagyobb médiafigyelője,

az



»OBSERVER«
BUDAPEST MÉDIAFIGYELŐ KFT.

Tudomány * Science * Wissenschaft

Szondi Egon

Eszköz a víz és vízgőz jellemzőinek számítására

(a Fortran h2o programcsomag)

2

Tool to Calculate the Characteristics of Water and Water

Vapour (Fortran H2O Program)

Instrument zur Berechnung der Kennzahlen von Wasser

und Wasserdampf (das Fortran H2O Programmpacket)

Villamos energia * Electricity * Villamosenergia-ellátásunk forrásoldalának fejlesztése

Dr. Stróbl Alajos

Villamosenergia-ellátásunk forrásoldalának fejlesztése

7

Developing the Sources of Our Electricity Supply

Entwicklung der Quellen der Stromversorgung

Termoökonomia * Thermo-economics * Termoökonomie

Groniewsky Axel

Jelentősebb termoökonomiai módszerek értékelő

áttekintése - Algebrai eljárások

11

Overview of Key Thermo-economic Methods – Algebraic

Procedures

Überblick über die wichtigsten Thermo-ökonomischen

Methoden – Algebraische Prozesse

Diagnosztika * Diagnostics * Diagnostik

Groniewsky Axel

Jelentősebb termoökonomiai módszerek értékelő

áttekintése - Diagnosztikai eljárások

14

Overview of Key Thermo-economic Methods –

Diagnostic Procedures

Wertender Überblick über wichtige thermoökonomische

Methoden – diagnostische Prozesse

Megújuló energiaforrások * Renewable Energy Sources * Erneuerbare Energiequellen

Kovács Róbertné

Mikrohullámú kezelés hatása a biogázkihozatalra

húsiipari szennyvíz esetén

17

Effect of Microwave Treatment on Biogas Yield of Meat

Industrial Wastewater

Effekt der Mikrowellen-Behandlung auf die Biogausausbeute

von Abwasser der Fleischindustrie

Péter Szabó István, Szendrő Péter, Szabó Gábor

Kísérleti berendezés kifejlesztése napkollektorok

hatásfokának mérésére

20

Development of an Experimental Equipment for the

Measurement of the Efficiency of Solar Collectors

Entwicklung von Testgeräten zur Messung der Effizienz

von Solarkollektoren

Virtuális Erőmű * Virtual Power Plant * Virtuelles Kraftwerk

Orbán Tibor, Gurka Szilárd, László Tamás

Táv hőrendszeri keringtető szivattyú cserék

24

Replacement of circulating pumps in district

heating systems

Ersatz von Umwälzpumpen in Fernwärmanlagen

Gáztechnikai számítások * Gas Technical Calculations * Gastechnische Berechnungen

Kis László

Éghető gázkeverék tüzeléstechnikai jellemzőinek

számítása

28

Calculating the Firing Properties of Flammable

Gas Mixtures

Berechnung der befeuerungstechnischen Parameter

von brennbaren Gasmischungen

Vállalati kommunikációs közlemény * Corporate Communications announcement * Unternehmens eigene Bekanntmachung

Varga Péter

Közép-Európa első trigenerációs rendszere direkt

füstgázos abszorpciós fűtőközponttal Ostravában

30

The First Trigeneration System with Flue Gas-fired

Absorption Chillers in Central Europe (Ostrava)

Das erste Trigeneration-System in Mittel-Europa mit direkt

Rauchgas absorbierender Flüssigkeit-Kälteanlage in Ostrava

Hozzászólás * Comment * Kommentar

Rákoskeresztúri füstgázhasznosítás

32

Flue Gas Utilization in Rákoskeresztúr

Rauchgasverwendung in Rákoskeresztúr

Hírek * News * Nachrichten

Prof. Dr. Szebenyi Imre nekrológ

34

Obituary of Imre Szebenyi, D.Sc.

Nekrológ von Prof. Imre Sebenyi

Prof. Dr. Jászay Tamás nekrológ

35

Obituary of Prof. Tamás Jászay

Nekrológ von Prof. Tamás Jászay

Szakkollégium * News from the Student Association of Energy * Nachrichten aus dem Fachkolleg

Nukleáris hulladékok kezelési-reprocessálási

technológiák

36

Nuclear Waste Treatment and Reprocessing

Technologies

Technologien zur Behandlung und Aufarbeitung

von nuklearem Abfall

Bánki Donát Emlékfélv

Donát Bánki Memorial Term

Donát Bánki Gedenkhilbjahr

A folyóirat szerkesztésénél különös figyelmet fordítottunk a környezetvédelmi szempontokra!

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

Eszköz a víz és vízgőz jellemzőinek számítására (a Fortran h2o programcsomag)

Dr. Szondi Egon János

aranyokleveles gépészmérnök, dregonjanos@gmail.com

Sok hőtechnikai feladat megoldásához egyedi számítógépi programot kell írni. Ehhez a humán erőforrásokkal való takarékoskodás érdekében olyan magas szintű nyelvet kell választani, ami lehetővé teszi a minőségbiztosítást. A szabad terjesztésű, Fortran 95 nyelven írt, a felhasználó programjából hívható h2o modulok az IAPWS-95 és az IAPWS-IF97 alapján készültek.

*

Individual computer programs have to be written for solving many thermotechnical tasks. For saving the human resources, a high-level programming language has to be selected, which makes possible the quality assurance. The freeware h2o Fortran modules, based on the IAPWS-95 and IAPWS-IF97, were written in Fortran 95, and can be called from the user's program.

Az Energiagazdálkodás formai és tartalmi megújulása, 2011 óta az Alapismeretek rovatban sok olyan, az energetikai számítások módszertanát bemutató cikk jelent meg (pl. [1]–[4]), amelyek gyakorlati alkalmazásához a víz és/vagy a vízgőz jellemzőinek, pl. fajtérfogat, viszkozitás ismerete szükséges.

Akkor, ha egy egyszerű képlet-behelyettesítéses feladatot kell megoldani, a „vízgőztáblázatok” felhasználása is célhoz vezet. Egy ilyen, zömmel naprakész adatokat tartalmazó könyv [5] adataihoz könnyű hozzáférni, hiszen e-könyvként az internetről ingyen letölthető. A táblázatok adatai és az azokat bemutató ábrák az *International Association for the Properties of Water and Steam* (IAPWS) által közzétett, az alappontok adatait és az interpoláló függvényeket tartalmazó jelentés-sorozata [6] feldolgozásával készültek¹. (Ezek összefoglaló ismertetése megtalálható a könyv előszavában.) Felhasználásához természetesen kézi számolásra, interpolálásra van szükség. A letölthető változattal ellentétben a nyomtatott változathoz mellékelt CD-ROM-on található egy interaktív program, amellyel a táblázatokban nem szereplő argumentumokhoz is meghatározhatók a keresett jellemzők, vagyis az interpolálás gépesíthető.

A manuális interpolálás elkerülhető pl. a MEI (МЭИ, Московский Энергетический Институт) honlapján található víz/vízgőz-jellemző számító munkalapok használatával. Ezen túlmenően a MEI több tipikus folyamat számítását is lehetővé teszi honlapja felhasználásával [7].

Csak a kézi számolásnak megfelelő bonyolultságúak lehetnek az irodai programcsomagok (pl. Open Office, MS Office) táblázatkezelő programjaival megoldható feladatok (mint mondjuk az Alapismeretek számításai esetében), ugyanis a táblázatkezelő programok nem támogatják a magas szintű nyelveknél természetes strukturált szerkezeteket. Találkozhatunk ilyen, kisigényű megközelítéssel is: pl. a [8] cikk arról számol be, hogy táblázatkezelő programokból elérhető, vízgőztáblázatokat helyettesítő eljárásokat dolgoztak ki táblázat számításához.

¹ A könyv a 2005-ig publikált IAPWS jelentések alapján készült. Ezt követően, 2007-ben adták ki az „alap-dokumentum”, az IF97 (lásd alább) felülvizsgált változatát, a viszkozitás-riport felülvizsgálata 2008-ban, a hővezetési tényező és az olvadási, illetve szublimációs adatoké pedig 2011-ben történt.

Példák bonyolultabb számításokra

Közismert, hogy Kína erőműparkja rohamosan bővül. Könnyen megjegyezhető „szabály”: *hetenként helyeznek üzembe egy 1000 MW-os szenes erőműblokkot*. Ez nem mindig volt így: 1960 körül számtalan 4,5 MW-os kondenzációs blokkot szállított a Láng és a Ganz² a Kínai Népköztársaságba. A kazánból kilépő gőz paraméterei (az akkor használt mértékegységekkel): 41 ata, 450 °C voltak. Ezekkel a paraméterekkel a szokásos megoldás a természetes cirkulációjú dobos kazán alkalmazása volt. (A mesterséges cirkulációjú La-Mont kazánok nagyon ritkák voltak.)

A jobb hatásfok érdekében és a gyártási, üzemeltetési gondokat okozó kazándob elhagyása végett a jelenleg üzemelő blokkok Kínában is szuperkritikus (összefoglaló [9]) vagy ultra-szuperkritikus paraméterűek (egy 2010 óta üzemelő 1100 MW-os széntüzeléses blokk részletes analizisét írja le a [10] cikk). Ezek a blokkok természetesen „egycsöves” (Benson) kazánal létesülnek³.

Itt kell említést tenni arról, hogy nem csak Kínában (és az USA-ban, Japánban stb.), hanem Magyarországon is terveztek – a múlt század 80-as éveiben – szuperkritikus erőművet: a hánytatott sorsú Dunántúli (Bicskei) Gyújtóerőmű is ebbe a kategóriába tartozott volna [11].

Az erőművi paraméterek 1960 és 2010 közötti, azaz fél évszázad alatti változását illusztrálják az 1–2. ábrák, jóllehet ezeken a víz és gőz mindössze 3 jellemzőjének alakulása látható a körfolyamat jellegzetes pontjaiban, közép-, illetve ultra-szuperkritikus nyomáson. A vízszintes tengelyen a fontosabb pontok sorszáma, az azonos skálájú függőleges tengelyeken a hőmérséklet, nyomás és entalpia látható. Figyelemre méltó, hogy az entalpia-görbék magassága nem nagyon tér el. Az ábrákat elemezve könnyen belátható, hogy miért gazdaságosabb az új erőmű, mint az 50 évvel ezelőtti: az átlagos hőbevezetési hőmérséklet most lényegesen magasabb, mint egykor (a [10]-ben bemutatott erőmű hatásfoka 43,21%, az 50 évvel ezelőtti blokké pedig – a telepítési helyenként más és más tüzelőanyag, így eltérő kazánhatásfok mellőzésével – legfeljebb 28,6%-ot érhet el⁴).

A körfolyamat tervezéséhez szükség van minden olyan adatra, ami a hőátjáratási képletekben előfordul (pl. a helyfüggő nyomás számításához a ρ sűrűsége, illetve v fajtérfogatra, továbbá az áramlást jellemző Reynolds-szám számításához a μ viszkozitásra, illetőleg a λ hővezetési tényezőre, mindegyikre a tág határok között változó nyomás és hőmérséklet függvényeként). *Éppen ezekhez a számításokhoz szükséges függvényeket publikálta az IAPWS.*

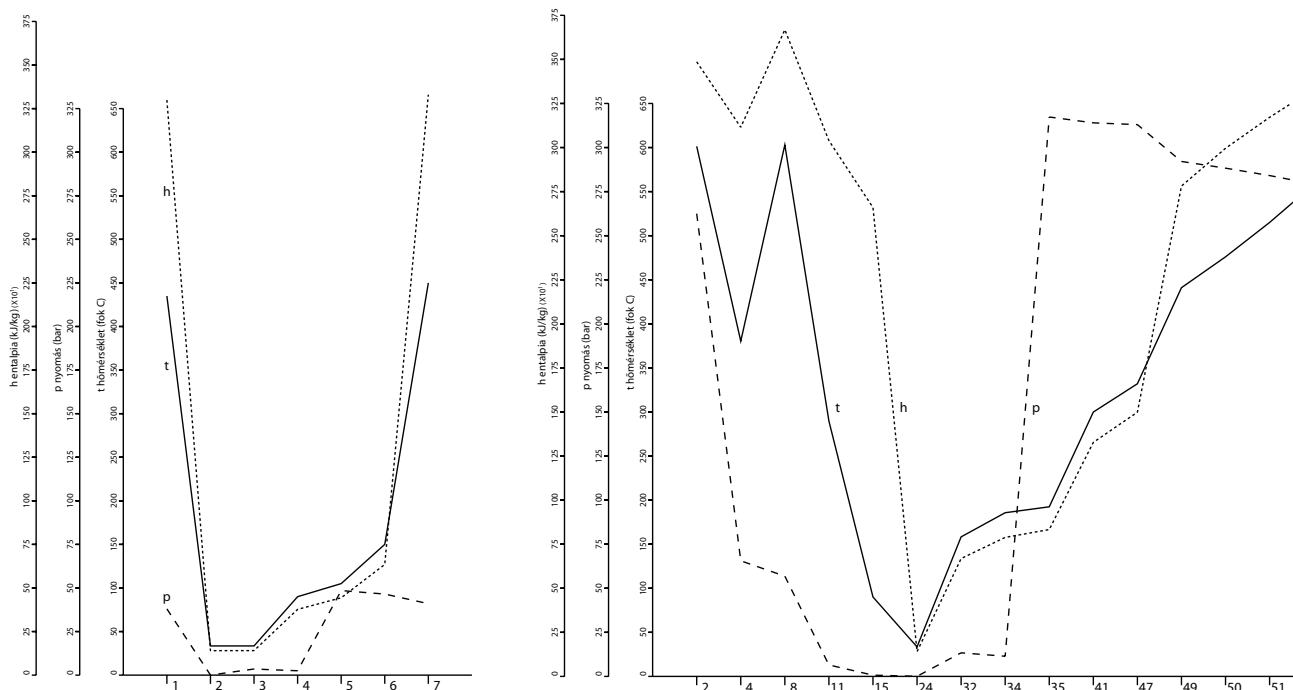
Az IAPWS függvényeinek termodinamikai háttere

Mivel az IAPWS függvények csak 1 kg „tisztá” H₂O (a desztillált, illetve az erőművi gyakorlatban sótalanított víz) jellemzőinek számítására

² Tervező: HÓTERV Export O. (vezető tervező: Hibbey Levente)

³ Figyelemre méltó, hogy induláskor (kis terhelésnél) egy szeparátorba jut az akkor még szubkritikus gőz-víz keverék, a vízfázist innen a La-Mont kazánokhoz hasonlóan vezetik vissza a tápvíz belépési ponthoz.

⁴ Teljesítmény a turbina tengelykapcsolóján 4,5 MW; a hőbevezetés az 1. ábra 6. és 7. pontja között történik, $\Delta h = 2694,8$ kJ/kg; gőztermelés 21 t/h = 5,83 kg/s; kazán hőteljesítménye 15,71 MW; $\eta = 4,5/15,71 = 0,286$



1. ábra. (balra) **Állapotjelzők az 50 évvel ezelőtti körfolyamat egyes helyein**

1 – turbina belépés; 2 – kondenzátor belépés; 3 – csapadékvíz-szivattyú után; 4 – gáztalanítóba belépés; 5 – tápszivattyú belépés; 6 – kazán belépőcsonknál; 7 – túlhevített gőz kilépés

2. ábra. (jobbra) **Állapotjelzők egy ultra-szuperkritikus körfolyamat egyes helyein**

A vízszintes tengelyen a számozás lehetővé teszi a [10] cikk hősemáján történő pont-azonosítást: 2 – nagynyomású turbina belépés; 4 – nagynyomású turbina kilépés; 8 – újrahevítő ki-, középnyomású turbina belépés; 11 – középnyomású turbina ki-, kisnyomású turbina belépés; 15 – kisnyomású turbina kilépés; 24 – kondenzátor vízelvezetés; 32 – gáztalanítóba belépés; 34 – tápszivattyú belépés; 35 – tápszivattyú kilépés; 41 – ECO belépés; 47 – ECO kilépés; 49 – tüztéri csőfal kilépés; 50 – túlhevítő első fokozat kilépés; 51 – első ernyő-típusú túlhevítő kilépés; 52 – második ernyő-típusú túlhevítő kilépés; 53 – utolsó túlhevítő kilépés

szolgálnak, az alábbiakban csak a fajlagos adatok definíciója található, a vegyi folyamatokat mellőzve.

Az u *belső energia* a rendszer (1 kg H₂O!) állapotjelzője, megadja a rendszer energiataralmát, figyelmen kívül hagyva a mozgási és helyzeti energiát. Változásának oka a rendszer \pm fűtése és \pm munkavégzése.

A h *entalpia* az u *belső energiának*, valamint a p *nyomás* és v *fajtérfogat* szorzatának összege.

Az f *Helmholtz (szabad) energia* megadja, hogy egy zárt rendszer állandó hőmérsékleten mennyi „hasznos” munkát tud végezni.

A g *Gibbs (szabad) energia* megadja, hogy egy zárt rendszer állandó nyomáson és hőmérsékleten mennyi „hasznos” munkát tud végezni.

A felsorolt energia-jellegű állapotjelzők közötti összefüggések:

$$h = u + pv \quad (1)$$

$$f = u - Ts \quad (2)$$

$$g = h - Ts \quad (3)$$

ahol T abszolút hőmérséklet, s entrópia. Mindkettő állapotjelző, akár csak a p és v , ezért az u -n kívül h is, f is, g is állapotjelző. Mindegyik felírható két tetszőlegesen kiválasztott állapotjelző függvényeként, pl. $h(p, T)$ vagy $f(\rho, T)$ – az utóbbiban a sűrűség $\rho = v^{-1}$. (Nedves gőz esetében p és T nem függetlenek, de az x fajlagos gőztartalom bevezetésével továbbra is elegendő két paraméter az állapot leírásához.)

Az u a rendszer potenciálja, ezért skálájának kezdőpontja tetszőlegesen felvehető. A 5th International Conference on the Properties of Steam Londonban, 1956-ban a folyékony fázis belső energiáját a hármaspontban definiálta zérusnak: $u_i' = 0$ kJ kg⁻¹. Ugyanitt zérus az entrópia: $s_i' = 0$ kJ kg⁻¹K⁻¹. A döntés következményei: $T_i = 273,16$ K,

$p_i = 611,657$ Pa, $h_i = 0,611783$ J kg⁻¹. Az f és g szabad energiák ismeretében (elvileg) egyszerűen felírhatók a keresett állapotjelzők (1. táblázat).

1. táblázat. Egyes állapotjelzők számítása a szabad energiák ismeretében

Kiindulás→ Számítandó állapotjelző↓	Helmholtz energia $f = f(\rho, T)$	Gibbs energia $g = g(p, T)$
Nyomás	$p = \rho^2 (\partial f / \partial \rho)_T$	-
Belső energia	$u = f - T(\partial f / \partial T)_\rho$	$u = g - T(\partial g / \partial T)_p - p(\partial g / \partial p)_T$
Entrópia	$s = -(\partial f / \partial T)_\rho$	$s = -(\partial g / \partial T)_p$
Entalpia	$h = f - T(\partial f / \partial T)_\rho + p(\partial f / \partial \rho)_T$	$h = g - T(\partial g / \partial T)_p$
Izochor fajhő	$c_v = (\partial u / \partial T)_\rho$	$c_v = (\partial u / \partial T)_\rho$
Izobár fajhő	$c_p = (\partial h / \partial T)_p$	$c_p = (\partial h / \partial T)_p$
Hangsebesség	$w = [(\partial p / \partial \rho)_s]^{1/2}$	$w = v[-(\partial p / \partial v)_s]^{1/2}$
Fajtérfogat	$v = \rho^{-1}$	$v = (\partial g / \partial p)_T$
Sűrűség	-	$\rho = v^{-1}$

Az IAPWS függvényei

Az ETE folyóiratában, az Energia és Atomtechnikában az EGI négy évvel ezelőtt közzétette az IAPWS függvények előfutárának, a 6th International Conference on the Properties of Steam által létrehozott International Formulation Committee IFC-67 azonosítójú függvény-csomagjának Algol-60 nyelvű megvalósítását [12]. A csomag közvetlenül felhasználható volt a VEIKI RAZDAN-III „iparági számítógépén” ([13] 2.9.1 táblázat).

Az IFC-67 formulák bonyolultak voltak, másrészt nem publikáltak explicit inverz függvényeket. Az energetikai számítások az expanzió-vonalat a h -s koordináta-rendszerben írják le. A turbina áramlási és gépészeti tervezéséhez a v , p és T ismeretére van szükség. A $v(p, T)$ függvényt az IFC-67 tartalmazta, de a $h(p, T)$ és $s(p, T)$ függvényeket többváltozós iterációval „meg kellett oldani” p -re és T -re. Emiatt a mainál jóval lassabb⁵ számítógépeken rendkívül hosszú futásidőkre volt szükség.

Az IAPWS formuláinak közzététele két lépésben történt [6]. Az IAPWS-95 csomag a tudományos számítások igényeit elégíti ki, az ipari felhasználásra szolgáló IAPWS-IF97 („Industrial Formulation”), ami az IFC-67 helyébe lép, az alább felsorolt függvényeket, köztük az ipari gyakorlatban rendkívül fontos inverz függvényeket is tartalmazza.

Az IAPWS függvények között a tudományos számításokhoz kidolgozott IAPWS-95 az egész állapotjelző-teret egyetlen (!) *Helmholtz*-függvény-nyel írja le. A nyomás értéke 0,0001 MPa-tól (1 mb) 1000 MPa-ig, a hőmérséklet pedig a nyomásfüggő olvadási hőmérséklettől (min. 251,165 K) 1273 K-ig terjedhet. Ebben a tartományban pl. a számított hangsebesség hibakorlátja általában tized-század %! Sőt, a függvény felfelé kielégítő pontossággal extrapolálható 100 GPa-ig és 5000 K-ig, lefelé pedig 130 K-ig.

A függvény természetesen mértékegység-független. Argumentumai a dimenziótlan sűrűség ($\delta = \rho/\rho_c$, ahol $\rho_c = 322 \text{ kg m}^{-3}$, a kritikus pontbeli érték) és a dimenziótlan hőmérséklet ($\tau = T_c/T$, ahol $T_c = 647,096 \text{ K}$, a kritikus hőmérséklet). Két részből áll, a Φ^0 ideális gáz-részből és a Φ^r maradvány-részből:

$$\frac{f(\rho, T)}{RT} = \phi(\delta, \tau) = \phi^0(\delta, \tau) + \phi^r(\delta, \tau) \quad (4)$$

$$\phi^0 = \ln \delta + n_1^0 + n_2^0 \tau + n_3^0 \ln \tau + \sum_{i=4}^8 n_i^0 \ln \left[1 - e^{-\gamma_i^0 \tau} \right] \quad (5)$$

$$(6)$$

$$\phi^r = \sum_{i=1}^7 n_i \delta^{\alpha_i} \tau^{\beta_i} + \sum_{i=8}^{51} n_i \delta^{\alpha_i} \tau^{\beta_i} e^{-\delta^{\gamma_i}} + \sum_{i=52}^{54} n_i \delta^{\alpha_i} \tau^{\beta_i} e^{-a_i(\delta-\delta_c)^2 - B_i(\tau-\tau_c)^2} + \sum_{i=55}^{56} n_i \Delta^{\beta_i} \delta^{\psi_i}$$

$$\Delta = \theta^2 + B_1 \left[(\delta - 1)^2 \right]^{\alpha_1}$$

$$\theta = (1 - \tau) + A_1 \left[(\delta - 1)^2 \right]^{\beta_1}$$

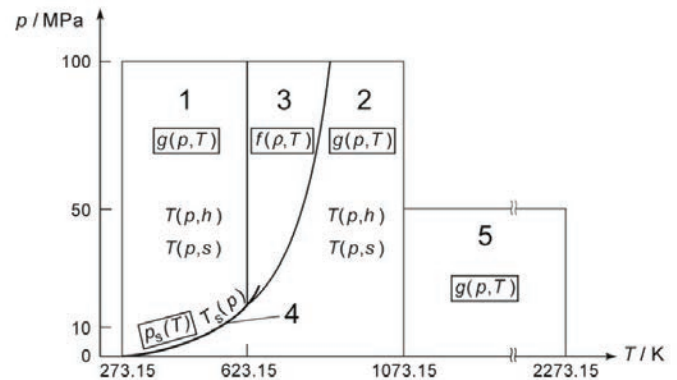
$$\psi = e^{-C_1(\delta-1)^2 - D_1(\tau-1)^2}$$

A függvényben előforduló n_i együtthatók 14 számjegy pontosságúak. Ezeknek és a kitevő-vektoroknak az értéktáblázata az IAPWS-95 riportban egy teljes oldalt kitölt.

Az egyes (szintén dimenziótlan) állapotjelzőket a fenti, bonyolult összefüggés deriváltjainak felhasználásával, az 1. táblázatban megadott képletekkel lehet számolni. (A derivált-függvények megtalálhatók az IAPWS-95 riportban.) A sok tört-kitevőjű tényező miatt a számítás eleve munkaigényes (a logaritmus- és exponenciális függvény sokszori kiszámítását igényli), így az ipari gyakorlatban szükséges inverz függvények értékét, pl. $T(h, s)$, $v(h, s)$ és $p(h, s)$, csak hosszadalmas szimultán iterációval lehet megkapni. Amikor a hőkapcsolási terv („hősema”) minden pontjára rendelkezésre áll az összes állapotjelző, akkor kezdhető a külső iteráció, amellyel a létesítmény (pl. erőmű) egészének minden pontjában kell eljutni a konvergenciáig. Ennek minden lépésében újra el kell végezni az inverz függvények meghatározását.

A fentiekre tekintettel az IAPWS egy második függvény-csomagot is kidolgozott. Az IAPWS-IF97 (IAPWS Industrial Formulation 1997) csomagban lévő függvények lényegesen egyszerűbbek, mint a fentebb bemutatott (6) összefüggés. Ezt úgy érte el, hogy a nyomás-hőmérséklet

teret 5 kisebb tartományra osztotta fel (3. ábra), sőt az inverz függvények definíciója a 2 és 3 tartományon belül további, még kisebb részkeze van rendelve. (A 4. tartomány a telítési görbe⁶, illetve annak egyenlete.)



3. ábra. Az IAPWS-IF97 tartományai

Tartományonként a bekeretezett függvények az alapfüggvények, lásd: (7)–(10) képletek. Az állapotjelzők az 1. táblázatban összefoglalt szabályok szerint számolhatók. Az ábrán fel nem tüntetett, a 2. táblázatban felsorolt inverz függvényeket az IAPWS külön riportokban publikálta.

Az IAPWS-IF97 függvények az 1, 2 és 5 tartományokban a Gibbs-féle $g(p, T)$ szabad energiát, a 3 tartományban pedig a *Helmholtz*-féle $f(\rho, T)$ szabad energiát modellezik, *azonos struktúrával*. A számítógépre vitelt megkönnyíti, hogy ezek egyszerű szerkezetűek (a polinomok „távolol rokonai”) és nem „sokemeletes törtfüggvények”, mint az IFC-67. Ez a megoldás lehetővé teszi a gyors számolást. (A Gibbs függvények első argumentuma a dimenziótlan nyomás $\pi = p/p^*$, ahol p^* tartományonként van definiálva. A második argumentum, a dimenziótlan hőmérséklet $\tau = T/T^*$ képzéséhez tartományonként különböző T^* értéket használnak.) A víz gázállandója $R = 0,461526 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$. (A szintén 14 számjegy pontosságú n együttható-vektorok továbbá az I és J kitevő-vektorok értékének ebben a cikkben történő felsorolása felesleges lenne. Az IAPWS-IF97 függvények a következők:

1. tartomány: (7)

$$\frac{g(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \sum_{i=1}^{34} n_i (7.1 - \pi)^{\beta_i} (\tau - 1.222)^{\beta_i}$$

2. tartomány: (8)

$$\frac{g(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \gamma^0(\pi, \tau) + \gamma^r(\pi, \tau)$$

$$\gamma^0 = \ln \pi + \sum_{i=1}^9 n_i^0 \tau^{\beta_i}$$

$$\gamma^r = \sum_{i=1}^{43} n_i \pi^{\beta_i} (\tau - 0.5)^{\beta_i}$$

3. tartomány: (9)

$$\frac{f(\rho, T)}{RT} = \phi(\delta, \tau) = n_1 \ln \delta + \sum_{i=2}^{40} n_i \delta^{\beta_i} \tau^{\beta_i}$$

5. tartomány: (10)

$$\frac{g(p, T)}{RT} = \gamma(\pi, \tau) = \gamma^0(\pi, \tau) + \gamma^r(\pi, \tau)$$

$$\gamma^0 = \ln \pi + \sum_{i=1}^6 n_i^0 \tau^{\beta_i}$$

$$\gamma^r = \sum_{i=1}^6 n_i \pi^{\beta_i} \tau^{\beta_i}$$

⁵ RAZDAN-III: az adatoktól függően 15000–25000 utasítás 48-bites szavakkal. Ez megfelelne egy 90–150 kHz-es PC-nek (az a laptop, amelyiken ez a cikk íródik, 2,3 GHz-es)

⁶ T -s koordináta-rendszerben: a 4 görbe helyett az $x=0$ és $x=1$ közötti terület már „igazi” tartományként jelenik meg

A víz, illetve vízgőz paraméterei a szabad energia-függvények első- és másodrendű parciális deriváltjainak felhasználásával nyerhetők. Az IAPWS-IF97 legfontosabb direkt és inverz függvényei a következők (az index a tartomány jele, $k=1, 2, 5$):

$$\begin{aligned} g_k(p, T) &\rightarrow v_k(p, T), h_k(p, T), u_k(p, T), s_k(p, T), c_{pk}(p, T), c_{vk}(p, T), w_k(p, T) \\ g_1(p, T) &\rightarrow T_1(p, h), T_1(p, s), p_1(h, s) \\ g_2(p, T) &\rightarrow T_2(p, h), T_2(p, s), p_2(h, s) \\ f_3(p, T) &\rightarrow p_3(p, T), h_3(p, T), u_3(p, T), s_3(p, T), c_{p3}(p, T), c_{v3}(p, T), w_3(p, T) \\ &T_3(p, h), v_3(p, s), T_3(p, s), p_3(h, s), v_3(p, T) \\ \rho_s(T) &\rightarrow T_s(p) \end{aligned}$$

Példaként álljon itt a 2. tartománybeli, a kritikus állapottól távolú állapotú túlhevített vízgőz fajtérfogatát leíró IF97 függvény. Ennek az állapotjelzőnek a származtatása az 1. táblázat megfelelő mezőjében megtalálható.

$$v(\pi, \tau) \cdot \frac{p}{RT} = \pi^{-1} + \sum_{i=1}^{43} n_i \cdot I_i \cdot \pi^{i-1} \cdot (\tau - 0.5)^{j_i}$$

v	fajtérfogat $m^3 \text{ kg}^{-1}$
p	nyomás (MPa)
T	hőmérséklet (K)
π	dimenziótlan nyomás, $\pi = p/p^*$ ($p^* = 1 \text{ MPa}$)
τ	dimenziótlan abszolút hőmérséklet, $\tau = T^*/T$ ($T^* = 540 \text{ K}$)
R	víz gázállandója, $R = 0.461526 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
n_i, j_i	együttható-vektorok

A fentiekől független szerkezetűek a μ viszkozitás és λ hővezetési tényező képletek. A 3. régióban, a kritikus pont közelében a képletek két komponense ($\mu = \mu_0 \times \mu_1$, illetve $\lambda = \lambda_0 \times \lambda_1$), mellett megjelenik egy harmadik is ($\mu = \mu_0 \times \mu_1 \times \mu_2$, illetve $\lambda = \lambda_0 \times \lambda_1 \times \lambda_2$). A harmadik komponens, μ_2 , illetve λ_2 egyik eleme az izoterm kompresszibilitás, a $\zeta = (\partial \delta / \partial \pi)_T$ függvény. A $\pi = p/\rho_c$ dimenziótlan nyomás számításához az 1. táblázat szerint az $f(p, T)$ Helmholtz energia első $\delta = p/\rho_c$ szerinti deriváltját kell képezni, ezért a ζ -nek már második δ szerinti deriváltját tartalmazza. A megkívánt pontosság az IF97-beli (9) formula alkalmazásával nem volt elérhető, ezért az IAPWS-95 szerinti (4)–(6) képletek deriváltját építették be a μ és λ képleteibe. Az összefüggések bonyolultsága miatt a szimpla behelyettesítés nem elegendő, a számítások során a numerikus analízis fegyvertárát is be kell vetni.

Az IAPWS jelentések teljes listájának [6] feldolgozására volt szükség ahhoz, hogy össze lehessen állítani a tervezett programmodul függvénykészletének tartalomjegyzékét, ugyanis a publikációk karbantartása miatt minden függvénynek a legutoljára megjelent formuláját kellett kiválasztani. Felhasználásukhoz a függvényeket számítógép által érthető nyelven kell leírni.

A programozási nyelv kiválasztása

Erőmű-tervezés esetén az algoritmus bonyolultsága nem korlátozódik az Alapismeretek rovat feladataira! Például mindig szükség van egy sokfokozatú tápvízelőmelegítő-sor viselkedésének leírására a turbina terhelésváltoztatása esetén. Ennek egy táblázatkezelő programmal történő megoldása megfelel az 1950-60-as évek hőszámításai emberi munka ráfordításának.

Ahhoz, hogy a hőtechnikai számítások *minőségbiztosítással* történhessenek, *szabványos magas szintű* programozási nyelven kell az algoritmust leírni. Két ISO/IEC szabványban szabályozott nyelv, a Fortran [14] és a C [15] közül lehet választani. (A közkedvelt Pascal kiesik, mivel a számtalan nyelvjárás közös része⁷ [16] játékprogramozáshoz való.)

⁷ A nyelvet Nikolaus Wirth a számítógép-programozás oktatására dolgozta ki, nem műszaki feladatok megoldására.

A Fortran mellett szól, hogy „igazi” algoritmus-leíró nyelv, ami a C-ről nem mondható el⁸. Emiatt a választás a legelterjedtebb változatra, a Fortran 95-re esett. Akkor, ha a hőtechnikai feladatot megoldó program írói ragaszkodnak a nyelvi szabványhoz (azaz nem veszik igénybe a fordítóprogram által kínált kényelmi szolgáltatásokat), programjuk a világon mindenütt egyformán fog futni, ami a software minőségbiztosítás alapvető kritériuma. – Akármennyi előnye van egy új nyelvnek, azt nem szabad az ISO/IEC által történő elfogadás előtt használni. Mégis voltak akik az IAPWS függvényeit olyan nyelveken programozták, amelyek nincsenek egyértelműen definiálva, pl. a C# (nyelvleírás: [17], program: [18]) vagy a Python (nyelvleírás: [19], program: [20]).

A minőségbiztosítás egy-két kérdése

Az energetikai software-fejlesztés alapvető kézikönyveit az EPRI, Electric Power Research Institute (Palo Alto, Kalifornia) állította össze [21]⁹. Ezek felhasználásával történt a h2o programcsomag egyszemélyes fejlesztésének minőségbiztosítása. Az ezekben leírtak részletes ismertetése messzire vezetne a cikk céljától, de természetesen része a h2o dokumentációjának.

A Fortran 95 nyelvet definiáló ISO/IEC szabványon túlmenően két szabályzatot [22], [23] is figyelembe kell venni minden minőségbiztosítást igénylő feladatnál. Ezek tartalmazzák azokat az előírásokat, amelyek betartása nélkül reménytelen kísérlet tetszőleges számítógépen, tetszőleges fordítóprogramot használva alkalmazható, a triviális hibák ellen védett („robusztus”) program írása.

Ilyen előírás a (hagyományos formában megírt) feladatmegoldás és a program egyértelmű egymáshoz rendelése. Példa: esetünkben a 14 jegyre megadott adatok valós számok, n betűvel jelölve, ami mindennapi programozási gyakorlatban egész számot szokott jelölni. Mégsem szabad a megszokás szerint eljárni, és kicserélni mondjuk az együtthatók esetében szokás c betűre, mert ez lehetetlenné tenné a program utólagos karbantartását, amire az IAPWS-IF97 revíziója esetén lehet szükség.

A programhelyesség-bizonyítás része a minőségbiztosításnak. Két különböző tevékenységet foglal magában, a *validálást* és a *verifikálást*. A két szó szótári jelentése között nincs nagy különbség. A megértést segíti egy példa: programot kell írni az $ax^2 + bx + c = 0$ egyenlet megoldására. A program érdemi része csak 2 sor:

$$x1 = (-b + \text{SQRT}(b^2 - 4*a*c)) / (2*a)$$

$$x2 = (-b - \text{SQRT}(b^2 - 4*a*c)) / (2*a)$$

A *verifikálás* sikeres, hiszen a program a közismert oldóképletet hibátlanul kódolja. A *validálás* viszont a program használhatatlanságára mutat rá: az $a=0$ esetben nem működik (és védve sincs ellene), illetőleg a $b^2 < 4ac$ esetben csak további lépésekkel történő kiegészítéssel szolgáltatja a komplex megoldást.

A fentebb bemutatott IAPWS formulák validálását az IAPWS szakértői elvégezték és publikált jelentéseikben dokumentálták. A programok *verifikálásához* jól összeválogatott adatsorokat állítottak össze, amelyek feldolgozásával kiszűrhetők a kódolási és számbábrázolási hibák.

Terjesztési filozófia

Az IAPWS összes dokumentuma ingyenesen letölthető az IAPWS honlapjáról. A bennük részletesen leírt függvény-csomag elkészítése sok százezer munkaórát igényelt, magasan kvalifikált közreműködőktől.

⁸ A Fortran első leírása 1954-ben jelent meg (vagyis 60 éves tapasztalat szól mellette!): „IBM Formula Translating System”. A Fortran és a C „vegyes” használatát lehetővé teszi a Fortran 2003. E sorok írásáig, 2014 nyaráig, csak a PC-k teljesítményét nagyságrendekkel meghaladó teljesítményű IBM Workstation-ökre dolgoztak ki korlátozásoktól mentes Fortran 2003 fordítóprogramot.

⁹ Az EPRI minőségbiztosítási rendszerének dokumentumait – az EPRI hozzájárulásával – kizárólagos joggal közölte az Új Alaplap.

Ennek felhasználásával a víz- és vízgőz-jellemzőket számoló program kódolása mindössze pár száz, legfeljebb ezer óra ráfordítással elvégezhető. Nem tartom korrekt eljárásnak ezekért a programokért annyi árat kérni, mint egy nem csak kódolást, hanem algoritmus-fejlesztést is tartalmazó programcsomagért. Ebben a környezetben öröndetes, hogy szolid áron lehet hozzájutni az IAPWS-95 Fortran 95 programcsomaghoz [24] a NIST, US Dept. Of Commerce, National Institute of Standards and Technology-tól (100 US \$, ami jószerivel csak a sokszorosítási és adminisztrációs költségeket fedezi)¹⁰. Az már más kérdés, hogy ipari alkalmazásokhoz az IAPWS-95 nem jó választás.

A h2o Fortran 95 modul szabad terjesztésű program (freeware). A modulban a 2. táblázatban felsorolt függvények „PUBLIC” attribútummal vannak jelölve, minden más („részlétszámítások”, pl. μ_0 , μ_1 , λ_2) „PRIVATE” megjelölést kapott. A „PUBLIC” függvények a felhasználó programjából a Fortran 95 szabályai szerint hívhatók.

A csomagnak a része a forrásnyelvű lista, a programleírás, a verifikálás teljes anyaga és az alkalmazást bemutató („demo”) program. Letöltési cím (download URL): <https://dl.dropboxusercontent.com/u/48835351/h2o.zip>

Hivatkozások

- [1] Balikó S.: Hőhasznosítás. Energiagazdálkodás 52(2011)1 p.21
- [2] Balikó S.: Összetett rendszerek veszteségeinek értelmezése. Energiagazdálkodás 53(2012)1 p.27
- [3] Balikó S.: Csővezetékek nyomás- és hővesztése. Energiagazdálkodás 53(2012)2 p.29, 53(2012)3 p. 27
- [4] Balikó S.: Hőcserélők változó üzemben. Energiagazdálkodás 54(2013)3 p.26
- [5] W. Wagner, H-J. Kretschmar: International Steam Tables. 2nd Ed. © 1998 and 2008 Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-21419-9 e-ISBN 978-3-540-74234-0.
[http://f3.tiera.ru/2/E_Engineering/Wagner%20W.,%20Kretschmar%20H.%20International%20steam%20tables%20properties%20of%20water%20and%20steam%20based%20on%20the%20industrial%20formulation%20IAPWS-IF97%20\(Springer,%202010\)\(ISBN%209783540742340\)\(392s\)_E_.pdf](http://f3.tiera.ru/2/E_Engineering/Wagner%20W.,%20Kretschmar%20H.%20International%20steam%20tables%20properties%20of%20water%20and%20steam%20based%20on%20the%20industrial%20formulation%20IAPWS-IF97%20(Springer,%202010)(ISBN%209783540742340)(392s)_E_.pdf). (7,5 MB)
- [6] <http://www.iapws.org>, Releases and Guidelines menüpont
- [7] Ochkov V.F., Alexandrov A., Orlov K., Voloschuk V., Ochkov A.: Cloud computing processes and cycles of heat power plants.
<http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/WSPHB/NREE-2008-2/EngIndex.html>
http://twf.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/mas/eng/index.html
http://twfmas.mpei.ac.ru/mas/Worksheets/wsp_PT.mcd
- [8] M. Alvarez, S. Barbato: Calculation of the Thermodynamic Properties of Water Using the IAPWS Model. J. Chil. Chem. Soc. 51(2006)2, p. 891.
- [9] Ravindra Kumar P., Ramchandra Raju V., Ravi Kumar N.: Effect of Parameters in Once-Through Boiler for Controlling Reheat Steam Temperature in Supercritical Power Plants (Review Paper). Res. J. Engineering Sci. 2(2013)1 p. 27. ISSN 2278 – 9472. Letölthető: <http://www.isca.in>
- [10] Ligang Wang, Yongping Yang, Changqing Dong, Zhiping Yang, Gang Xu, Lingnan Wu: Exergoeconomic Evaluation of a Modern Ultra-Supercritical Power Plant. Energies 2012, 5,p. 3381, ISSN 1996-1073. <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/9/3381.pdf>

¹⁰ A lényegesen egyszerűbb IF97 alkalmazásával készült [5] könyv katalógusára 154,69 €

2. táblázat. Függvénynevek a h2o programcsomag moduljaiban

Függvény		Függvény-argumentumok								
		p,T	p,h	p,s	p,T	h,s	T	p	h	s
g Gibbs energia (1, 2, 5 régiók)	kJ kg ⁻¹	gfe								
f Helmholtz energia (3 régió)	kJ kg ⁻¹				hfe3					
f Helmholtz energia	kJ kg ⁻¹				hfe95					
v fajtérfogat	m ³ kg ⁻¹	v	vph	vps						
ρ sűrűség	kg m ⁻³	rho								
u belső energia	kJ kg ⁻¹	u			urt3, urt95					
s entrópia	kJ kg ⁻¹ K ⁻¹	s			srt3, srt95					
h entalpia	kJ kg ⁻¹	h			hrt3, hrt95					
c _p izobár fajhő	kJ kg ⁻¹ K ⁻¹	cp			cp3, cp95					
c _v izochor fajhő	kJ kg ⁻¹ K ⁻¹	cv			cv3, cv95					
w hangsebesség	m s ⁻¹	w			wrt					
T hőmérséklet	K		tph	tps		ths				
p nyomás	MPa				p3, p95	phs				
p _s telítési nyomás	MPa					pshs	ps		psh	pss
T _s telítési hőmérséklet	K					tshs		ts		
h' telített víz entalpia	kJ kg ⁻¹					hswt	hswp			hsws
h'' telített gőz entalpia	kJ kg ⁻¹					hswt	hswp			hsws
x gőztartalom	-					xhs				
μ viszkozitás	μPa.s	mu			murt95					
λ hővezetési tényező	mWK ⁻¹ m ⁻¹	lambda			lambda rt95					

- [11] Gerse K.: Visszatekintés. MVM Közlemények 50(2013)3-4. p. 6. ISSN 1216-4992.
- [12] Szondi E.: Közelítő függvények a víz és vízgőz állapotjelzőinek számítására. Energia és Atomtechnika 24(1971)8, p. 321.
- [13] Kerényi Á. Ö.: A magyar villamosenergia-ipar története 1988–2005. G-mentor Kft Budapest 2006. ISBN 963 86715 4 8.
- [14] ISO/IEC 1539-1:1997
- [15] ISO/IEC 9899:1999
- [16] ISO/IEC 7185:1990
- [17] ISO/IEC 23270:2006 (a 2007–2013 közötti változtatások nincsenek szabványosítva)
- [18] Necdet Kurul: Properties of Water. An Implementation of IAPWS-IF97 Steam Tables. <https://code.google.com/p/propertiesofwater/downloads/list>
- [19] <http://docs.python.org/dev/reference/> (a nyelv nincs szabványosítva)
- [20] Python implementation of international-standard IAPWS-IF97 steam tables. <https://pypi.python.org/packages/source/i/iapws/iapws-1.0.2.tar.gz>
- [21] EPRI Software Development Roadmap – Requirements and Guidelines; EPRI Quality Program Manual. Új Alaplap 18(2000)10. CD ROM melléklet. ISSN 1217-7598
- [22] European Standards for Writing and Documenting Exchangeable Fortran 90 Code http://research.metoffice.gov.uk/research/nwp/numerical/fortran90/f90_standards.html
- [23] Standards, Guidelines and Recommendations for Writing Fortran 90/95 Code US Dept. Of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration. August 2010. http://projects.osd.noaa.gov/SPSRB/standards_docs/Fortran95_v2.1.docx
- [24] <http://www.nist.gov/srd/nist10.cfm>

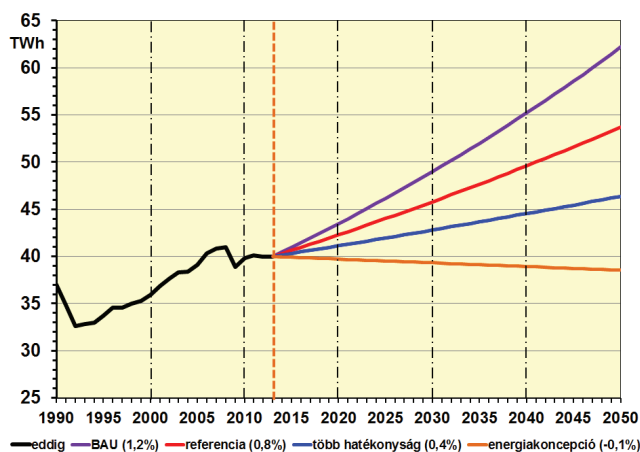
Villamosenergia-ellátásunk forrásoldalának fejlesztése

Dr. Stróbl Alajos

okl. gépészmérnök, strobl@mavir.hu

A magyarországi villamosenergia-ellátás jövője ma bizonytalanul látszik biztonságosnak. Nem tudni ugyanis, hogyan alakul a következő másfél vagy két és fél évtizedben a hazai erőműpark, miként formálódik a behozatali többlet. Azt azonban bátran állíthatjuk, hogy az ellátás forrásoldala éppen olyan megbízható marad, mint az átviteli vagy elosztói oldala. A jelenlegi energetikai, környezetvédelmi és műszaki feltételek dinamikája ismertnek vehető, de azért – mint látható lesz – sokat kell tennünk céljaink teljesítéséhez.

A bruttó villamosenergia-fogyasztásunk¹ (1. ábra) múltja ismert, és a szokásoknak megfelelően felvehető többféle változattal a jövőben várható alakulás. Az „úgy, mint eddig” változat nagy növekedést jelenthet, de ésszerűbb mostanság a kisebb, egy ún. referenciával számolni. Ez az átlagban évente 0,8%-ot jelző növekedés kétszerezese az EU várható átlagának. Több hatékonysági igyekezet mellett ez elfogadható, sőt, Európában sok helyen már a csökkenés is reálisnak látszik. Az értékteremtés (pl. GDP-ben mérve) a fontosabb, és többen úgy gondolják, hogy a fogyasztás csökkentése globálisan olcsóbb, mint a termelés növelése. Maradjunk a referenciánál, és gondoljunk arra, hogy a nem várt visszaesések a jövőben is előfordulhatnak!

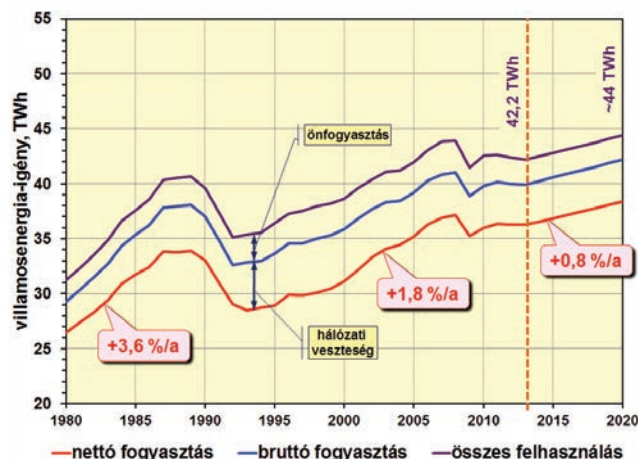


1. ábra. A hazai bruttó villamosenergia-fogyasztás várható jövője

Jelenleg kellő optimizmusra van szükség ahhoz, hogy nagyobb igénynövekedésre gondolhassunk. A bruttó villamos fogyasztás 2008-ban nagyobb volt (41 TWh), és az idén eddig eltelt nyolc hónap alatt nem tapasztaltunk növekedést, a teljes felhasználásunk mintegy 0,2%-kal csökkent az előző év azonos időszakához képest. Még jó, hogy a GDP viszont 3% körül növekedik.

Nézzük meg részletesebben az eddigi változást, és tekintsünk a közeli jövőbe, melyre pontosabban jövedülhetünk, mint évtizedekre előre! Itt már külön lehet választani a nettó és a bruttó fogyasztást, és jelezni lehet az összes felhasználás alakulását is (2. ábra). Tété-

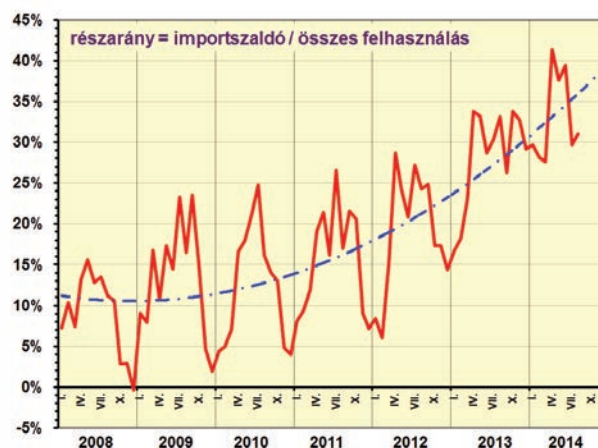
lezzük fel, hogy 2020-ban kicsit már meghaladhatjuk az eddigi legnagyobb országos évi felhasználást, és elérhetjük az új csúcst, a 44 TWh-t!



2. ábra. A fogyasztás és a felhasználás múltja és közeli jövője

Bizonyos válságok után az igények visszaesése mindig természetes. A múlt század hatvanas éveiben még évi átlagban 7%-nál nagyobb növekedést jegyeztek fel. Láthatóan az olajválságok után, a nyolcvanas években ennek már mintegy a fele adódott. A politikai válság után ismét feleződött növekedéskor az ütem, így szinte magától értetődik, hogy évtizedünkben a visszaesést ismét kisebb emelkedési ráta követheti.

Gondolni kell arra, hogy 2008 óta a forrásoldalon jelentős változás rögzíthető (3. ábra). Megnövekedett a behozatali többlet, azaz az importszaldó. Jellemző a havi változás is, de elsősorban a nagyság megdöbbentő: évi átlagban elértük a 30%-os behozatali arányt, ami elég ritka Európában, és meghaladja a politikai válság előtt elért legnagyobb értéket. Kereskedőink inkább vásárolnak a nemzetközi nagykereskedelemben a tőzsdéről, mint a drágán termelő hazai földgázüzelésű erőművektől. A megújulókat támogatása ugyanis letörte a nagykereskedelmi árakat (a kiskereskedelmit nem, sőt).



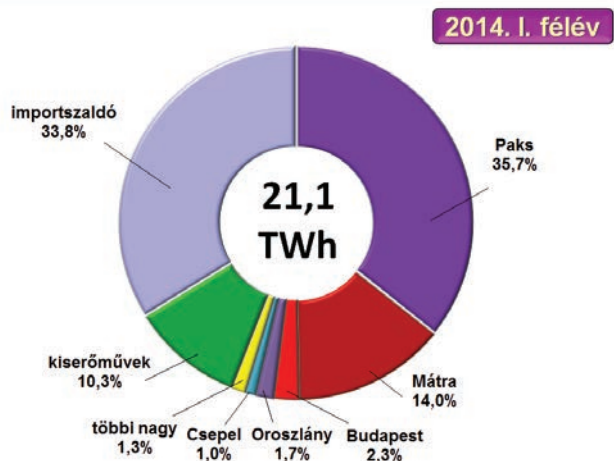
3. ábra. Az importszaldó havi változása az elmúlt években

¹ A nettó villamosenergia-fogyasztás és a hálózati veszteség összege. Nem azonos a bruttó felhasználással.

A növekményköltség szerinti sorrend a piacon sem változott, és a kínálatot épp' úgy besorolják, mint régen az optimális teherelosztáskor. A szél-, a nap- és a vízerőművek növekményköltsége még az atomerőműnél is kisebb, tehát több ilyen megújulás erőmű hátrább sorolja a hagyományosakat. Az eredmény: adott fogyasztáskor a nagykereskedelmi, piaci árak csökkennek. A fogyasztói árakban azonban mégis támogatni kell a megújulókat, és a támogatás – megújulás illeték – sok helyen már önmagában nagyobb, mint a piaci ár. A térségünkben van még elég erőmű, kiépült a hálózati összekötés is (vagy kiépül), tehát a kereskedőinknek köszönhetjük, hogy olcsóbb villanyt tudnak részünkre vásárolni. Hogy meddig tart ez, az nem jó-solható meg.

A kialakult jelen azonban bemutatható. Például a 2014. év első felében elért felhasználás összetétele (4. ábra). Ebben a fél esztendőben annyit használtunk fel, mint a tavalyi összesnek a fele, viszont az importszaldó már 30% fölé emelkedett. Volt olyan nap, hogy ez még az 50%-ot is meghaladta. A lényeg az, hogy a Paksi Atomerőmű és a Mátrai Erőmű, azaz a két alaperőművünk együtt már mintegy a felét tették ki az összes felhasználásunknak. Mivel az importszaldó egyharmadot jelentett, így alig maradt valami a hazai erőművekre. Az összes többi nagyerőmű kevéssel termelt többet, mint 6%, és a kiserőművek – köztük a kötelező átvételűek és a szabályozási feladatra összeállt gázmotorosak – is csak 10% körüli részaránnyal büszkélkedhettek.

A két legfontosabb forrás tehát: az atomerőmű és az import. A kiserőművek egy részét még támogatják a kötelező átvétellel, a kapcsolt termelést már nem. Az egyetlen jelentős hazai primerenergia-forrást, a lignitet még a negyven éves Mátrai Erőműben kellő mértékben hasznosítják. A közelmúltban épített, korszerű, jó hatásfokú, földgáztüzelésű, gázturbinás nagyerőművek kihasználása azonban minimális lett. A többnyire magánberuházók nem számoltak jól a piaci hatásokkal – beleértve az üvegházhatású gázok kibocsátásának kereskedelméből adódó árakkal.



4. ábra. A hazai villamosenergia-felhasználás 2014 első felében

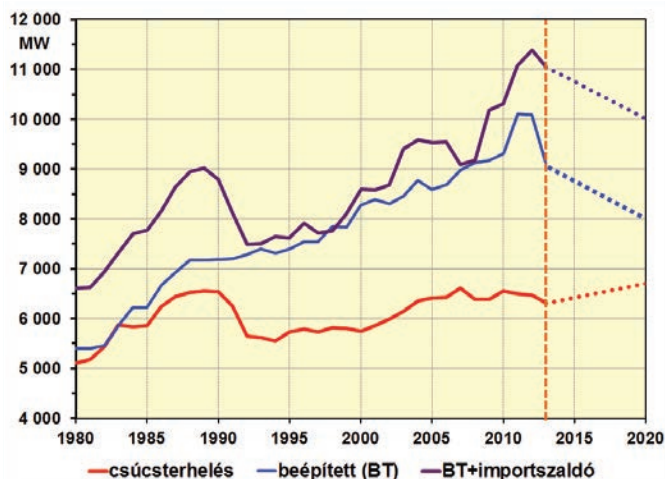
Mi a helyzet most, és mi várható hat év múlva? Ehhez meg kell nézni a teljesítőképesség és a csúcsterhelés éves alakulását, továbbá tekintetbe kell venni az importszaldó számított teljesítményértéket (általában decemberi átlaggal). A kép 1980 óta érdekes változásokat mutat (5. ábra), de minket már a közeli jövő jobban izgat.

A csúcsterhelés legnagyobb értéke még 2007-ben adódott valamivel 6600 MW felett. Azóta csökken, tavaly már 6300 MW-ot is alig

haladtuk meg, és az időjárástól függően idén sem lehet ez sokkal több. Viszont megnövekedhet 2020-ig, ha a fogyasztókat nem eléggé ösztönzik az ésszerű gazdálkodásra. Felvehető például, hogy az évtizedünk végére itt is rekordot döntünk, és elérjük – mondjuk – a 6700 MW-ot. Lesz-e ehhez elég erőművünk és importunk?

A hazai erőműpark előregedett, tavaly, az év végén már állandó hiányban volt az egész beépített kapacitás kb. 20%-a. Például a Duna és a Tisza mentén. Átmenetileg szüneteltetnek forrásokat, de lehet, hogy ez tartós lesz. Leállhat például a több mint ötven éves Oroszlányi Erőmű. Kikerülhetnek a mérlegből a még régebbi erőművek is. Idén már 8900 MW körüli bruttó beépített névleges teljesítőképesség (BT) várható az év végén, aztán évente akár 150-200 MW-tal is csökkenhet az erőműparkunk látszólagos „nagyága”.

Építeni kell tehát minél hamarabb jó erőműveket, hogy ne növekedjék túlzottan a behozatali arány. A forrásoldalon elég lenne például 10 000 MW együttes kapacitás 2020-ban, de legalább 8000 MW-ot ebből hazai erőművekben kellene biztosítani. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy a hátra lévő néhány év alatt 1000-1200 MW-ot kellene létrehozni. Lehetséges ez? Igen, mert vállaltunk az EU-ban megújulás kötelezettséget. Igen, mert a befektetők ösztönözhetőek. Kicsit azért tartok attól, hogy az importszaldó mégis növekedni fog.

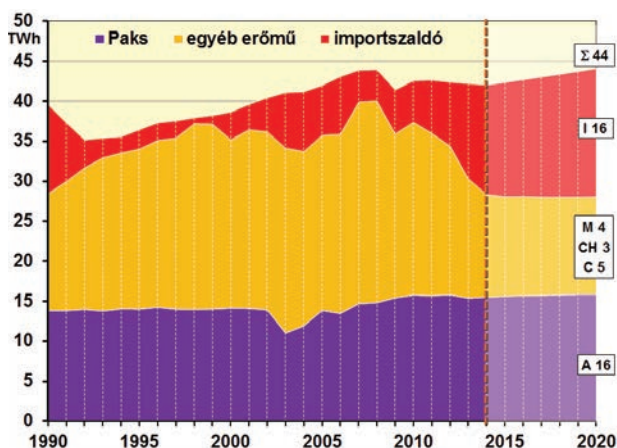


5. ábra. A csúcsterhelés és a teljesítőképesség alakulása

Be lehet mutatni a három fő forrás, az atomerőmű, a többi erőmű és az importszaldó villamosenergia-képét, azaz a magyarországi felhasználást (6. ábra), annak múltját és várható jövőjét. Az atomerőmű termelése ismert, és feltételezhető tovább a 16 TWh körüli bruttó termelése. Ami nagyon ingadozott a múltban, az a behozatal és a többi hazai erőmű együttes termelése.

A hazai erőművek – Paks nélkül – az idei első félévben mintegy 6,4 TWh-t termeltek. Összesen kevesebbet, mint az atomerőművünk. Az éves termelés feltehetően ennek a kétszerese csak akkor lehet, ha a leálló erőműveket részben újak pótolják. A megmaradó ligniterőművünk az évtized végén még 5 TWh körüli termelést adhat, de több szénerőművünk aligha lesz. A megújuló forrásból legfeljebb 4 TWh hozható össze – tavaly 2,6 TWh adódott, az EU-nak viszont az évtizedünk végére 5,6 TWh-t jeleztünk. Ha nem lesz sok gond a földgázzal, akkor a korszerű kondenzációs és kapcsolt termelésű egységek együtt 3 TWh körüli értéket adhatnak. Az „egyéb” erőművek összesen akkor mintegy 13 TWh-t termelhetnek, ami jóval kisebb, mint az atomerőművünké.

Marad tehát 16 TWh körüli importszaldó-igény évtizedünk végén, ami a rekordot jelentő 44 TWh összes felhasználásnak a 37%-a. Reális-e ekkora növekedést feltételezni az ideig első félévben tapasztalt, közel 34% helyett? Nem lehet tudni, de valószínűbb, mint nagyobb mértékű erőmű-létesítést vagy inkább erőműves üzembe helyezések sorát várni. Nem az a fő kérdés, hogy ki épít ilyen rövid idő alatt erőművet, hanem inkább az, hogy mikor kezd el. Milyen ösztönzés hatására?



6. ábra. A villamosenergia-felhasználás alakulása

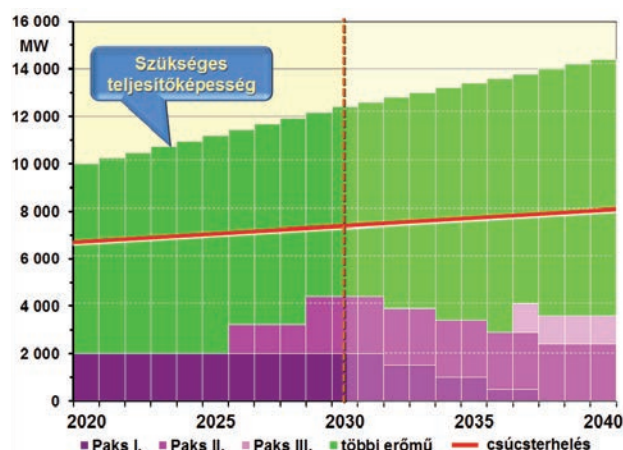
A kép világos, a feladat adott. El lehet azonban térni ettől a jövőképtől, főleg ha szükséges. Az ábra homályosabb része, a jövő, gyorsan változhat. Nem kell feltétlenül növelni a felhasználást, de ez a kis növekmény aligha lehet a fő nehézségek okozója. A gondot éppen az jelenti, hogy 2008-ban még 40 TWh-t állítottunk elő itthon, idén pedig már a 30 TWh-t sem biztos, hogy elérjük. Egyedül a Paks Atomerőmű tekinthető biztos forrásnak és talán a Mátrai Erőmű a hazai lignit miatt. Ez utóbbi megújítását is kellően előkészítették 2004 és 2010 között, de aztán másként döntött a tulajdonos. Új lignit-erőmű aligha helyezhető üzembe a hátralévő hat év alatt. Nem nagyon lehet bízni abban, hogy a hazai vagy a külföldi magánbefektetők földgázra új erőműveket fognak hamarjában építeni, mert elég keserű tapasztalatokat szereztek 2011-ben. A mai ukrán helyzet miatt talán az állam sem gondolkodik új földgáztüzelés létesítésében, inkább a helyettesítésben törheti a fejét. Marad tehát közeli jövőben a megújuló forrásra építhető kiserőmű-park.

Nem tudom, hogyan állunk a megújuló forrásra építhető erőművek üzembe helyezésének terveivel, de valahogy az az érzésem, hogy itthon nem nagyon szereti mindenki ezt a típust. Hiányzik a kellő mértékű ösztönzés is, talán azért, mert késik a beígért új átvételi árak meghatározása, és a kötelező átvétel rendszerét sem nagyon akarják prémiumos piaci rendszerrel vegyíteni. Nem növekszik ezért a 330 MW-os szél-erőmű-parkunk. Napelemes erőműveink együttes nagyságáról 2-30 MW közötti értékek vannak különféle statisztikákban. Fát nem nagyon akarnak új erőművekben eltüzelni. A pécsi „hazai” fejlesztés a lágyszárú biomassza, a szalma eltüzelésére túl drágának tűnik. Bár geotermikus nagyhatalom vagyunk, a föld hőjét sem igyekszünk villamos energiává alakítani. Vízerőműveinkről rövidebb távon ne is beszéljünk. Elmaradunk Európa többi országainak fejlesztéseitől ebben a tekintetben? El.

A közeli jövő helyett nézzük inkább a szép távoli idők ígérését! Itt van egy biztos pont, a Paks Atomerőmű elhatározott bővítése. Ez szükséges, de nem elégséges erőműlétesítés, kell más is. A másfél

évtizedre való tervezés alapfeladat minden tervező intézetben (az ERŐTERV-ben például így volt). Még jobb, ha legalább 25 évre előre tekintünk, azaz a 2030 és 2040 közötti időszakot is számításba vesszük.

A teljesítőképességek 2020 és 2030 közötti vagy még későbbi változásában csak Paksról festhető biztató kép (7. ábra). Nem nézve most a következő évtized közepétől a pontos üzembe helyezési (üzemi géppé nyilvánítási) időpontokat, a paksi kapacitás 2030-ra 4400 MW-ra nőhet. Aztán 2040-re lecsökkenne 2400 MW, ami pedig nem sokkal, csak 20%-kal nagyobb, mint a kiváltott régi atomerőmű névleges bruttó villamos teljesítőképessége.



7. ábra. A teljesítőképesség várható alakulása 2020-2040 között

A szükségesnek látszó teljesítőképesség 2020-ban 10 000 MW-ra, 2030-ban valamivel 12 000 MW-nál, 2040-ben pedig 14 000 MW-nál is többre tehető, hiszen közben a csúcsterhelés is nagyobb lehet (lesz). Most nem térek ki olyan részletekre, hogy miként kell vagy lehet a csúcsterhelésből a szükséges, biztonságosnak látszó teljesítőképességet meghatározni, mert nem ez a döntő kérdés manapság.

Nekem ma az tűnik a legnagyobb gondnak, hogy fogalmam sincs, hogy a Paks Atomerőmű „felett” lévő kapacitásokat miként fogják összeállítani fosszilis tüzelésű erőművekből, megújulókat hasznosítókból és importszaldóból. Ezt valószínűleg a piac nem oldja meg, de még az európai együttműködés sem a kialakult szabályok és irányzatok alapján. Nem feltétlenül cél a teljes önellátás, hiszen a múlt század ötvenes éve óta importálunk, de azért jó lenne itthon előállítani a villamos energia nagyobb részét még akkor is, ha az energiahordozót importálni kell. Nem nagyon bírom abban, hogy a térség országai a mi szinkronzónánkban optimálisan fogják hamarosan a közös forrásoldali fejlesztéseket. Lehet, hogy tévedek, mert a korral járó tapasztalataim félre vezethetnek.

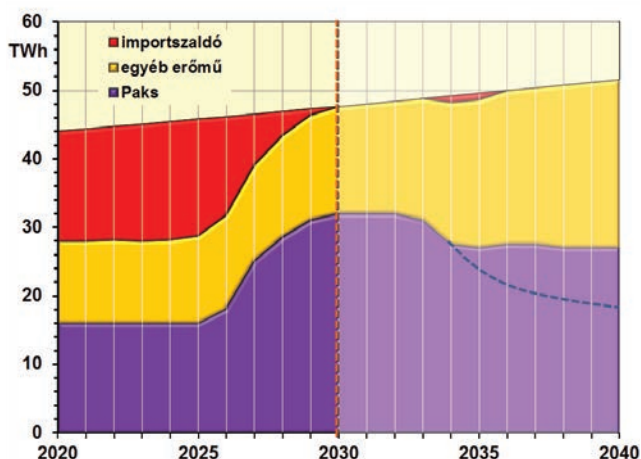
Miben lehet mégis bízni. Például abban, hogy a régi paksi blokkok leállításával összehangoltan létesül egy Paks III. is. Három 1200 MW-os blokk az adott helyen 3600 MW-ot jelent, és ez egy 14 400 MW-os jövőbeni hazai erőműparkot tekintve nem túl nagy. A telephely biztonsággal „elbírja” ezt a kapacitást, hiszen valamikor az ERŐTERV-ben 3760 MW-ra terveztük az erőművet. A sajnálatosan hamar eltávozott kollegánk, Lipták László diffúziós elmélete alapján számítottuk a hűtés hatását, a csóva alakulását a folyóban. A VEIKI kutató aztán ki is mérték Százhalombatta térségében a csóvaterjedést. A Duna elbírja ezt a nagy atomerőművet, már csak azért is, mert jóval korszerűbb, nagyobb hatásfokú lesz a harmadik

nemzedékes típus, mint a jelenlegi. Viszonylag kevesebb hőt kell tehát elvezetni frissvíz-hűtéssel. A hálózatot és a tartalékokat úgyis ki kell építeni a harmincas éveig.

Nem célokom most a további bővítés előkészítése, csak jelezni kívánom, hogy az egyetlen ma érvényes erőmű-létesítési elhatározás célszerűen tágítható. Rugalmas, dinamikus tulajdonságú egyéb erőművek elférnek még az atomerőmű mellett a húszas évek közepétől, és természetesen nagy szükség van „egyéb” erőművekre. Sokra. A Paks III. Atomerőmű csak mérsékelheti az ez irányú igényt. Célszerű azonban foglalkozni a termelt villamos energiával is, nem csak a teljesítőképességekkel. Felvázolható a jelzett 0,8% évi növekedési ütemhez az összes villamosenergia-felhasználás összetétele a szokásos módon: Paks + egyéb + import (8. ábra). E háromból csak az atomerőmű tekinthető „biztosnak”, és a 2030. esztendő utáni változások kissé homályosíthatók.

Feltételezhető, hogy 2030-ra a 4400 MW-os atomerőművet úgy ki tudják egészíteni az épülő egyéb típusú erőművek, hogy nem lesz szükség importszaldóra. Felvehető az ismert napi diagramok alapján – például 20%-os terhelésnövekedéssel a mához képest – az optimális teherelosztás, és a rugalmas új atomerőmű, a dinamikus egyéb fosszilis tüzelésű mellett még lehetővé teszi a régi paksi blokkok nagy kihasználását.

A Paksi Atomerőmű termelési részaránya kétharmadra növekedhet a húszas évek végére a jelenlegi, valamivel több, mint 50%-ról. Ez nem olyan nagy, de lehet azért, hogy a világon az első helyre kerülünk átmenetileg az atomerőműves termelési részarányral. Megelőzzük a franciákat, akik a hírek szerint 73%-ról vissza akarnak menni a mi részarányunk körüli értékre. Import nem kell, de export lehetne, ha a térség arra igényt tartana. Napközben nekünk is szükség van a teljes atomerőműves termelésre, és éjszaka, a kisebb terhelésű időszakokban aligha tudunk a térségben sok villanyt értékesíteni, hiszen ott is éjjel van. Nem kell egyelőre foglalkozni a külföldi értékesítéssel, hiszen még azt sem tudjuk, hogy nálunk miként alakul az igény a húszas években. Elemezni lehet a kérdést, de ezt úgyis a térségi piac fogja megválaszolni.



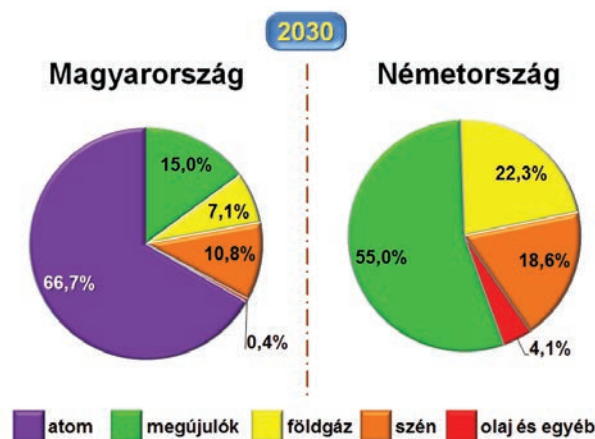
8. ábra. A hazai villamosenergia-felhasználás 2020-2040 között

A változás 2030 után még sokkal bizonytalanabb, mert még inkább függ ez egyéb erőműtípusok üzembe helyezésétől. Előfordulhat ezért átmenetileg, hogy keveset mégis importálunk majd, ha előbb áll le a régi atomerőmű négy egysége, mielőtt a harmadik új üzembe kerülne. Szaggatott vonallal bejelöltem azt az esetet is, amikor

nem épül meg Paks III. Ekkor bizony az új Paks II-vel alig mintegy 18-19 TWh lenne 2040-ban termelhető. A Paks III-mal együtt viszont ismét 53% körüli részarányt képviselhet a hasadóanyag a hazai villamosenergia-termelési összetételben.

Végül össze lehet hasonlítani a másfél évtized múlva kialakuló hazai villamosenergia-termelési összetételt a más utat választott Németország hasonló „mix” képével (9. ábra). Szembetűnő az eltérés, pedig szövetségesek vagyunk, gazdaságilag is erősen kapcsolódunk egymáshoz, sőt, mindketten valahogy – sajátos módon – követjük az Európai Unió energiapolitikáját, irányelveit, és igyekszünk fontos szerepet játszani az egész európai energetikai együttműködésben.

Nálunk az atomerőmű lesz a meghatározó a mintegy kétharmados aránnyal, de azért a megújulókról sem feledkezhetünk el. A jelenlegi évi 8-9%-os részarány a villamosenergia-termelésünkben megnőhet az európai vállalásunknak megfelelően az évtizedünk végéig közel 12%-ra, hogy aztán egy további évtized során feltornázzuk magunkat 15%-os részarányig. Egyelőre ezzel nem sokat törődünk, hiszen az ellátás szerkezete és szervezete alapvetően megváltozhat a közeli jövőben, és nem biztos, hogy ez segíti majd a megújulókat.



9. ábra. A hazai villamosenergia-felhasználás 2020-2040 között

Mi inkább a központosított (centralizált) termelést tartjuk a jónak, a németek viszont az elosztottat (a decentralizáltat). Az ő 55%-os megújulós részarányunk nagyon távol áll a mi várható (?) 15%-unktól. Az egyéb erőművek közül mi inkább a szenet, pontosabban a lignitet tartjuk fontosabbnak, a németek inkább a földgázt.

Javasolnám, hogy ne firtassuk, kinek van „igaza”, ki az okosabb és ki él jobban. Mindkét út járható, mindkettőről kimutatják az elkötelezettek a saját irányzatuk előnyeit. Ne vesszünk el a részletekben, ne keressük az igazságot, mert az gömbölyű, több oldala van! Mi döntöttünk, így járjuk a saját utunkat a legésszerűbb lépésekkel. A helyzet aztán másfél vagy két évtized múlva úgyis változik.

Nekünk az ismert módon az alaperőmű-létesítés (atom, lignit) a bevált megoldás Ezt ismerjük, ehhez igazodunk. A németeknél is változott a helyzet, amióta a cégem jóvoltából közel harminc évvel ezelőtt a Ruhr-vidéken erőműveket terveztem. Akkor még ismertem őket, ma már nem. Akkor még fluid-tüzelésű és szénelgázosító erőművet kellett terveznem, ma már ilyenre ők sem vetemednek. Tanuljunk tőlük szervezést, pontosságot, fegyelmet, de az energetika területén járjuk a saját utunkat.

Jelentősebb termoökonomiai módszerek értékelő áttekintése – Algebrai eljárások

Groniewsky Axel

okl. gépészmérnök, groniewsky@energia.bme.hu

Termodinamikai rendszerek I. főtételén alapuló gazdasági értékelésének egyik nagy hiányossága, hogy kapcsolt energiatermelés esetén az előállított termékekhez nem képes szakmai alapon nyugvó, egymástól független költségeket rendelni. Kogeneráció (vagy poligeneráció) esetén az együttes tüzelőanyag-felhasználás szétosztása a minőségükben eltérő termékekre elvi alapon nem lehetséges, a felosztásnak termodinamikai alapja nincs. Termoökonomia a kutatók azon törekvésének eredménye, hogy a minőségükben eltérő termékeket be lehessen árazni objektív módon. Alábbi publikáció célja az algebrai eljárások exergoökonomián belüli bemutatása.

*

The major failure of Energy-based costing is that in case of cogeneration (or polygeneration) it cannot allocate the cost of obtained products based on solid technical grounds. The allocation of fuel consumption of cogeneration systems for different products based on pure thermodynamic principles is not possible. Exergoeconomic analysis combines economic and Second Law based thermodynamic analysis by applying the concept of cost, originally an economic property, to exergy, allowing the determination of cost associated with qualitative and quantitative losses, also allocating different products gained from the same thermodynamic process. The aim of this paper is to describe algebraic procedures of exergoeconomics.

Bevezetés, az algebrai eljárásokkal kapcsolatos fontosabb fogalmak ABC szerint

A termoökonomia olyan tudományterület, amely ötvözi a termodinamikai és ökonomiai számításokat. A II. főtételén alapuló költségcsökkentési eljárások alkalmazás szempontjából három csoportra: az algebrai módszerekre, a kalkulációs módszerekre és a diagnosztikai módszerekre oszthatók. Algebrai módszerek alkalmazása során felmerülő, leggyakrabban használt fogalmak:

Disszipatív komponens (Dissipative Component): olyan komponens, amely exergiarombolást végez közvetlen termodinamikai haszon nélkül. Disszipatív komponensek izolációban nem, csak azzal a produktív komponenssel vizsgálhatók, amit kiszolgálhatnak.

Eseménymátrix (incidence matrix): olyan $(n \times m)$ méretű mátrix, amely a rendszer alrendszere és árama közötti kapcsolatot írja le. Alkalmas bármilyen termodinamikai rendszer leírására.

Exergia jellegű amortizációs költség (Exergetic amortization cost): rendszerkomponens előállításának üzemidőre fajlagosított exergiaköltsége. Ennek a jellemzőnek a meghatározása még elméleti szinten is körülményes, így gyakran kerül elhanyagolásra.

Exergia jellegű egységköltség v. exergetikai egységköltség (unit exergetic cost): megmutatja, hogy mekkora exergiaáram felhasználással jár egy rendszerkomponens egységnyi anyagáramának előállítása. Forrásra és termékre jellemző exergia jellegű egységköltség minden komponensre definiálható, melléktermékekre csak akkor, ha az adott komponens állít elő mellékterméket.

Exergiaköltség v. kiadás (exergetic cost or exergetic expense): az az exergiaáram, amely adott rendszer által megtermelt anyag v. energiaáram előállításához szükséges. Egy áram exergiaköltsége függ a rendszerhatártól, abszolút exergiaköltség nincs. Rendszerbe belépő áram exergiaköltsége saját exergiaértékével azonos.

F szabály (F principle): A forrás fajlagos exergiaköltsége azonos azzal az átlagos fajlagos exergiaköltséggel, amin az exergia a forrás áramához a korábbiakban szolgáltatásra került. A szabály alkalmazása csökkenti az AVCO/SPECO módszerekben alkalmazott segédegyenletek önkényességét.

Fajlagos exergia jövedelem (Specific exergy revenues): megmutatja adott anyag- vagy energiaáram piaci értékének exergiaáram fajlagosított maximumát.

Melléktermék (by-product): a rendszer azon anyagárama, amely részben vagy teljesen értéktelen, ugyanakkor külsőleg értékrendelhető hozzá (maradék, veszteség, melléktermék).

P szabály (P principle): A termékkel azonosítható bármely áramhoz szolgáltatott valamennyi exergiaegység átlagköltsége azonos. A szabály alkalmazása csökkenti az AVCO/SPECO módszerekben alkalmazott segédegyenletek önkényességét.

Produktív komponens (Productive component): olyan komponens, melynek célja a termelés.

Termelési egység (productive unit): a termelési szerkezetben megjelenített komponensen belül elhelyezkedő fiktív egység, melynek feladata a forrás- és termékáramok, és a komponensek közötti kölcsönhatások képi megjelenítése. Termelési egység segítségével SPECO termelési szerkezete képes mind a forrás- és termékáramok mérlegének, mind pedig a be- és kilépő exergiaáramok mérlegének vizuális megjelenítésére.

Algebrai eljárások módszertana

A módszer célja erőművi rendszerek költségelemzésének (vesztések költségbecslésének) elvégzése, a rendszerek által előállított termékek beárázása, az egyes anyag- és energiaáramokhoz történő átlagköltségek (average cost) rendelésével. Az átlagköltség egy olyan arányszám, ami megmutatja, hogy mennyi forrás befektetésével jár egységnyi termék előállítása. A számításra vonatkozó összefüggést pedig (2.1) mutatja:

$$C_{av,i} = \frac{\dot{C}_{av,i}}{\dot{E}_i}, \quad (2.1)$$

ahol $C_{av,i}$ az i . áram egységre fajlagosított átlagköltsége, $\dot{C}_{av,i}$ és \dot{E}_i pedig az i . áram exergia jellegű költsége és exergiája. Fontos megjegyezni, hogy az átlagköltség csak ismert forrás és termék esetén határozható meg. Az átlagköltség a növekményköltséggel ellentétben nem prediktív jellemző, vagyis P termék átlagköltségének ismeretében $P+\Delta P$ termék költsége még nem meghatározható.

Az algebrai eljárások módszertana alábbiakban TSATSARONIS és társai 1984 óta tartó munkái alapján (*Exergoeconomic analysis - EEA*) kerülnek bemutatásra, ami számos új módszer megjelenésének szolgáltatott alapot [1], [2], [3].

Egy állandósult állapotban üzemelő rendszer költségmérlege az alábbi módon írható fel:

$$\dot{C}_{P,tot} = \dot{C}_{F,tot} + \dot{Z}_{tot}^a + \dot{Z}_{tot}^{avi}, \quad (2.2)$$

ami alapján a rendszer termékének teljes költségára ($\dot{C}_{P,tot}$) egyenlő a termék előállításához szükséges valamennyi forrás költségáramával ($\dot{C}_{F,tot}$), a beruházási költségek (\dot{Z}_{tot}^a) valamint a működéssel és karbantartással kapcsolatos (\dot{Z}_{tot}^{avi}) költségek összegével. \dot{C} a rendszerben előforduló anyagáram, teljesítmény vagy hőteljesítmény exergiaáramaival kapcsolatos költségára, és a rendszer változó költségeire utal. A működéssel és karbantartással kapcsolatos költségek üzemvitelétől való függését figyelmen kívül hagyva és feltételezve, hogy a karbantartási költség arányos a beruházási költséggel, felírható, hogy

$$\dot{Z} = \dot{Z}^a + \dot{Z}^{avi}, \quad (2.3)$$

ahol \dot{Z} a rendszer költség-egyenértékes módszerrel meghatározott költségára (Levelized Cost!).

Exergetikai költségszámítás (Exergy Costing) során költség kapcsolódik minden exergiaáramhoz. Ez alapján a rendszerkomponensbe belépő, vagy onnan távozó anyagáramokhoz köthető exergiaáramok (\dot{E}_i , \dot{E}_e), illetve teljesítményhez (\dot{W}) vagy hőteljesítményhez (\dot{E}_q) köthető exergiaáramok költségáramai az alábbi módon számíthatók:

$$\dot{C}_i = c_i \cdot \dot{E}_i = c_i \cdot (\dot{m}_i \cdot e_i), \quad (2.4)$$

$$\dot{C}_e = c_e \cdot \dot{E}_e = c_e \cdot (\dot{m}_e \cdot e_e), \quad (2.5)$$

$$\dot{C}_w = c_w \cdot \dot{W}, \quad (2.6)$$

$$\dot{C}_q = c_q \cdot \dot{E}_q, \quad (2.7)$$

ahol c_i , c_e , c_w és c_q a megfelelő exergiák fajlagos (átlagos) egységköltsége (average costs per unit of exergy). Exergetikai költségszámításnál a rendszer valamennyi komponensére fel kell írni költségmérleget. Egy rendszer tetszőleges k . komponensének általános mérlegegyenlete (2.2)-(2.7) alapján az alábbi módon írható fel:

$$\sum_e (c_e \cdot \dot{E}_e)_k + c_{w,k} \cdot \dot{W}_k = c_{q,k} \cdot \dot{E}_{q,k} + \sum_i (c_i \cdot \dot{E}_i)_k + \dot{Z}_k. \quad (2.8)$$

Ugyanennek a komponens forrásának és termékének exergia fajlagosított egységköltsége számolható:

$$c_{F,k} = \frac{\dot{C}_{F,k}}{\dot{E}_{F,k}}, \quad (2.9)$$

$$c_{P,k} = \frac{\dot{C}_{P,k}}{\dot{E}_{P,k}}, \quad (2.10)$$

ahol $\dot{C}_{F,k}$ és $\dot{C}_{P,k}$ a komponens forrásának és termékének költségára, míg $\dot{E}_{F,k}$ és $\dot{E}_{P,k}$ pedig exergiaáram. A k . komponens forrásának és termékének exergia fajlagosított egységköltsége közötti összefüggést (2.11) adja meg:

$$c_{P,k} \cdot \dot{E}_{P,k} = c_{F,k} \cdot \dot{E}_{F,k} - \dot{C}_{L,k} + \dot{Z}_k, \quad (2.11)$$

ahol $\dot{C}_{L,k}$ a környezetbe távozó $\dot{E}_{L,k}$ exergiveszteség költségára. A termőkonómiai vizsgálat céljától függően a mennyiségi veszteség költségára számolható a $\dot{C}_{L,k}=0$ összefüggéssel, ha a cél rendszerszintű optimalás, akkor számolható a $\dot{C}_{L,k}=c_{F,k} \cdot \dot{E}_{L,k}$ összefüggéssel is feltételezve, hogy állandó termék mellett a veszteség a forrásból kerül fedezésre, vagy $\dot{C}_{L,k}=c_{P,k} \cdot \dot{E}_{L,k}$ összefüggéssel feltételezve, hogy a veszteség csökkenti a terméket.

Az exergiarombolással összefüggő költség rejtett költségnek tekinthető, mivel közvetlenül a költségmérlegben nem jelenik meg. Azonban ha felírjuk a k . berendezés exergiamérlegét:

$$\dot{E}_{F,k} = \dot{E}_{P,k} - \dot{E}_{L,k} + \dot{E}_{D,k}, \quad (2.12)$$

ahol $\dot{E}_{D,k}$ az adott komponens exergiarombolása, és az egyenletben szereplő forrás vagy termék exergiaáramát visszairjuk (2.11)-be, úgy az exergiarombolással kapcsolatos költségre, amely a minőségi veszteséggel kapcsolatos költséget jelöli, vagy $\dot{C}_{D,k}=c_{F,k} \cdot \dot{E}_{D,k}$ adódik, amennyiben $\dot{E}_{P,k}$ állandó és $c_{F,k}$ független az exergiarombolástól, vagy $\dot{C}_{D,k}=c_{P,k} \cdot \dot{E}_{D,k}$, ha $\dot{E}_{F,k}$ állandó és $c_{P,k}$ a független tag.

Egy komponens vizsgálatánál mindig feltételezhető, hogy a (2.8) belépő áramok exergia fajlagosított egységköltsége ($c_{i,k}$, $c_{w,k}$ és $c_{q,k}$) ismert, a kilépő áramok egységköltsége ($c_{e,k}$, $c_{w,k}$ és $c_{q,k}$) azonban ismeretlen. Amennyiben a legkisebb aggregációs szinten távozó áramok száma n , úgy az exergetikai költségszámítás elvégzéséhez $n-1$ segédegyenlet szükséges.

Segédegyenletek felírásának elvi megfontolásai:

1. Amennyiben a legkisebb aggregációs szintű egység csak egy terméket állít elő, úgy annak exergia fajlagosított egységköltsége a költségmérlegből kerül meghatározásra. A többi kilépő exergiaáram (forrás vagy veszteség) exergia fajlagosított egységköltsége segédegyenlettel kerül meghatározásra.
2. Amennyiben a legkisebb aggregációs szinten távozó termékáramok száma m , úgy a termékekre vonatkozó exergia fajlagosított egységköltségek meghatározásához $(m-1)$ segédegyenlet szükséges. A termelési folyamatra vonatkozó egyéb információ híján feltételezhető, hogy valamennyi termék forrásának exergia fajlagosított egységköltsége azonos. (*P alapelv*)
3. Amennyiben a legkisebb aggregációs szintű egység forrása egy adott exergiaáram be- és kilépő értékének különbsége, úgy annak exergia fajlagosított egységköltsége tekinthető állandónak. (*F alapelv*)

Egyes eljárások az exergiaáramokat további altípusokra bontják, ami jelentős mértékben növeli az egyenletrendszer ismeretlenjeinek a számát, és így a segédegyenletek számát is.

Exergetikai költségszámítás alapján egy termodinamikai rendszer tervezési állapotának termőkonómiai értékelése berendezés szinten történik, és legfontosabb jellemzői a relatív költségnyáda (r_k) (relative cost difference) és az exergoökonómiai faktor (f_k) (exergoeconomic factor). Számítási módjukat (2.13) és (2.14) mutatja.

$$r_k = \frac{c_{P,k} - c_{F,k}}{c_{F,k}} \quad (2.13)$$

$$f_k = \frac{\dot{Z}_k}{\dot{Z}_k + c_{F,k} \cdot (\dot{E}_{D,k} + \dot{E}_{L,k})} \quad (2.14)$$

¹ Levelized Cost Fazekas munkájában [4], mint egyszintre hozott, teljes gazdasági élettartamra vetített, diszkontált eredő termelési költség szerepel.

Az algebrai eljárások jelentősebb módszerei

LIFO módszer (*Last in First Out Approach – LIFO*)

LIFO módszer kizárólag segédegyenleteiben tér el a korábban bemutatásra került EEA-tól. A segédegyenletek azon logika alapján kerülnek felírásra, miszerint a legutoljára szolgáltatott exergia kerül felhasználásra először, azon a költségen, amelyen az előző komponens az adott exergiaáramot szolgáltatta. Ez a módszer szükséges teszi olyan adatok komponensenkénti bontását és tárolását, mint a munkaközeg exergianövekménye, a szolgáltatott exergia mennyisége és minősége, illetve az adott exergia fajlagos költsége. Az eljárás során a munkaközeg, fajlagos exergiájának nagysága alapján kerül besorolásra, majd gazdasági értékelése az adott intervallumra jellemző, az adott tartományt leíró fajlagos exergia előállításához szükséges költség hozzárendelésével történik. A módszertan előnye, hogy a segédegyenletek így mentesek lesznek az algebrai eljárásokra általában jellemző önkényes felvetésektől [2].

Átlagos vagy specifikus exergiaköltség módszer (*Average Costing/Specific Exergy Costing – AVCO/SPECO*)

Az AVCO/SPECO módszer egyrészt lehetőséget biztosít az EEA-ban ismertetett teljes exergiaáram átlagköltségének meghatározására, másrészt az exergia további alcsoportokra bontása esetén az eltérő formájú exergiaáramok (kémiai, fizikai, reaktív, nem reaktív, mechanikai és termikus) költségeinek meghatározására. A SPECO módszer növeli ugyan az eredmények pontosságát, de ez lehet a rendszerrel kapcsolatos következtetéseket érdemben nem befolyásoló, marginális tényező. Az AVCO-val szemben a SPECO számítási igénye lényegesen nagyobb, mivel az exergia minden új formája új ismeretleneket eredményez, ami új mérlegegyenletek és további, az EEA-ban nem ismertetett segédegyenletek megalkotását teszi szükségessé ([5], [6]). Noha egy áram összetétele változhat keveredés, szeparáció vagy kémiai reakciók következtében, az összetétel változását az adott berendezés üzemvitelének céljával együtt kell megítélni és érdemes mérlegelni, hogy a vizsgálat célja és a rendszer felépítése szükségessé teszi-e a SPECO módszer előnyben részesítését az AVCO-val szemben.

Exergetikai költségelmélet (*Exergetic Cost Theory – ECT*)

Hasonlóan az AVCO módszerhez, ECT is nagy hasonlóságot mutat a TSATSARONIS és társai által kidolgozott EEA-hoz. Eltérést a módszer döntően abban mutat, hogy amíg EEA a rendszer exergiaáramainak fajlagos monetáris egységköltségét, a rendszert felépítő berendezéseknek pedig amortizációs költségét számítja ki, addig ECT az adott exergiaáram exergia jellegű egységköltségét, a berendezéseknek pedig exergia jellegű amortizációs költségét határozza meg. Ennek megfelelően a berendezésekre nem monetáris költségmérleg, hanem exergiaköltség mérlegegyenlet kerül felírásra. EEA-tól eltérően VALERO és társai az eljárás során alkalmazott matematikai összefüggéseket és azok levezetéseit, nem egyszerű lineáris egyenletrendszerként, hanem lineáris algebra problémaként, mátrix- és vektorműveletek segítségével oldják meg. [7], [8], [9].

Módosított termelési szerkezet módszer (*Modified Productive Structure Analysis – MOPSA*)

A MOPSA módszer az AVCO/SPECO módszerhez hasonlóan az exergiat további (kémiai, termikus és mechanikai) alcsoportokra bontja, az eltérő formájú exergiaáramokhoz pedig eltérő fajlagos

egységköltséget rendel. Eltérést abban mutat, hogy az általános költségmérlegben megjelenik a negentrópia, amihez hasonlóan az eltérő formájú exergiaáramokhoz, szintén fajlagos egységköltséget rendel. Az AVCO/SPECO módszerrel szembeni hátránya, hogy a módszer alkalmazójának nincs mérlegelési lehetősége az eredmények pontosságának növelése és a többszámítás között, mindenféleképpen fel kell bontania az átlagos exergiaáramot specifikus formájúra. A módszer előnye, hogy mentes az anyagáramok költségkalkulációjától. [10]

Irodalomjegyzék

- [1] Tsatsaronis G.: Combination of exergetic and economic analysis in energy conversion processes, Proceedings of the European Congress on Economic and Management of Energy in Industry, Albufeira-Algarve, Portugal, 1984.
- [2] Tsatsaronis G, Lin L, Pisa J. Exergy costing in Exergoeconomics. J Energy Resour-ASME 115 pp.9–16. 1993.
- [3] Bejan, A., Tsatsaronis, G. and Moran, M., Thermal Design and Optimization. Wiley, New York, 1996.
- [4] Fazekas A. I. Villamosenergia-rendszerek rendszerszintű tervezése I. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2006.
- [5] Lazzaretto A, Tsatsaronis G. Speco: a systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. Energy; 31; pp.:1257-1289. 2006
- [6] Lazzaretto A, Tsatsaronis G. In: Aceves SM, Garimella S, Peterson R, editors. On the calculation of efficiencies and costs in thermal systems, AES-vol. 39. ASME; pp.:421–430. 1999.
- [7] Valero A, Lozano MA, Munoz M.: A general theory of exergy saving I. on the exergetic cost, New York, USA: ASME Books; pp. 1–8. 1986.
- [8] Valero A, Lozano MA, Munoz M.: A general theory of exergy saving II. on the thermoeconomic cost, New York, USA: ASME Books; pp. 9–16. 1986.
- [9] Valero A, Lozano MA, Munoz M.: A general theory of exergy saving III. Energy saving and thermoeconomics, New York, USA: ASME Books; pp. 17–21. 1986.
- [10] Kim S, Oh S, Kwon Y, Kwak H. Exergoeconomic analysis of thermal systems. Energy; 23 pp.:393–406. 1998.

Jegyezze be a naptárba:

Hőerőgépek és Környezetvédelem Nemzetközi Konferencia

**2015. május 27-29. Pécs,
a DALKIA támogatásával.**

A konferencia lehetőséget nyújt az akadémiai és az ipari szféra munkatársainak az eredményeik bemutatására és egymással folytatott konzultációra, továbbá a korszerű szalmatüzelésű blokk megtekintésére technikai túra keretében. A konferencia főbb témakörei: energetikai gépek és berendezések folyamatai és rendszerei, a megújuló energia források alkalmazása és hatásai, környezetvédelem aktuális kérdései.

További információk: www.heep.energia.bme.hu.

Jelentősebb termoökonómiai módszerek értékelő áttekintése – Diagnosztikai eljárások

Groniewsky Axel

okl. gépészmérnök, groniewsky@energia.bme.hu

Termoökonómia a kutatók azon törekvésének eredménye, hogy a minőségükben eltérő termékeket be lehessen árazni objektív módon. Diagnosztikai módszerek a termoökonómia legfiatalabb irányzata, egy fejlet monitoring technika, amely ellentétben a kalkulációs és algebrai módszerekkel nem a döntés előkészítését segíti, hanem az üzemeltetés során bekövetkező tüzelőanyag-fogyasztásnövekedés okainak feltárását, valamint az egyes okokhoz tartozó hatások számszerűsítését. Alábbi publikáció célja a diagnosztikai eljárások bemutatása az exergoökonómián belül.

*

Exergoeconomic analysis combines economic and Second Law based thermodynamic analysis by applying the concept of cost, originally an economic property, to exergy, allowing the determination of cost associated with qualitative and quantitative losses, also allocating different products gained from the same thermodynamic process. Diagnosis is the youngest field of exergoeconomic, an advanced monitoring techniques with the purpose of determining the fuel consumption variation, the identification of causes of its increment from design conditions and the quantification of the effect of each one of these causes. The aim of this paper is to describe diagnostic procedures of exergoeconomics. .

Diagnosztikai eljárásokkal kapcsolatos fontosabb fogalmak ABC szerint

A termoökonómia olyan tudományterület, amely ötvözi a termodinamikai és ökonómiai számításokat. A II. főtétel alapuló költség-számítási eljárások alkalmazás szempontjából három csoportra: az algebrai módszerekre, a kalkulációs módszerekre és a diagnosztikai módszerekre oszthatók. Diagnosztikai módszerek alkalmazása során felmerülő, leggyakrabban használt fogalmak:

Belső működési zavar (Intrinsic Malfunction): folyamaton belüli irreverzibilitások növekedése a folyamaton belüli veszteség (degradáció) következményeképpen.

Egyenes probléma (Direct problem): termoökonómiai diagnózis során a rendszer műszaki paramétereinek változtatását követően számítással kerül meghatározásra a bekövetkezett hatást.

Fordított probléma (Indirect problem): termoökonómiai diagnózis során a referencia modell és a valós modell adta eredmények közötti eltérésekből következtetés útján kerül meghatározásra a műszaki paraméterek változása.

Forrásra gyakorolt hatás vagy forráshatás (Impact on fuel, fuel impact): Rendszerelem alacsony hatékonyság (inefficiency) miatti többlet forrásfogyasztása.

Hanyatlási függvény (functional decay): Indukált működési zavar hatását leíró függvény.

Hiba ujjlenyomat (fingerprints of malfunctions): Egy rendszer paramétereinek változását az egyes rendszerkomponensek meghibásodásának függvényében tartalmazó táblázat. A szimuláció

során létrehozott táblázat összehasonlítható a működő rendszer állapotával, így egy hibás komponens könnyebben lokalizálható.

Hibabehatárolási eljárást (zooming strategy): módszer a rendszeren belüli rendellenes működés hatékony lokalizálására. Első lépésben a főberendezés (macro-component) kerül meghatározásra, ahol a rendellenes működés jelentkezik, második lépésben pedig az a konkrét elem, ami a főberendezésen belül a hiba forrása.

Hibahatások mennyiségi vizsgálata (Quantitative causality analysis): Olyan diagnosztikai eljárás, amely az energiaátalakító-rendszerekben bekövetkező meghibásodások okozta teljesítménycsökkenést vizsgálja a rendszer valós állapotának és referencia állapotának összehasonlításával oly módon, hogy a hatásfokváltozást a független diagnosztikai változók között osztja fel. Nagy pontosságú szimulációra nincs szükség, linearizált termodinamikai egyenletek írják le a rendszert és számolják a hatást egy lépésben. Indukált működési zavar (Induced Malfunction): folyamaton belüli irreverzibilitások növekedése, egy a rendszeren belüli másik folyamatban bekövetkezett működési zavar következményeképpen.

Működési zavar v. endogén irreverzibilitás v. belső irreverzibilitás (Malfunction): irreverzibilitás növekedés, amit a berendezés hatásosság vagy hatásfok csökkenés következtében szenved el.

Működési zavar költsége (Malfunction Cost): Növekmény a külső forrásban, a komponensben bekövetkezett működési zavar következtében.

Rendellenes működés v. exogén irreverzibilitás v. külső irreverzibilitás (Dysfunction): folyamaton belüli irreverzibilitások növekedése, miközben a termelési igény változik.

Szabad állapot (free condition): amennyiben egy rendszer valamely komponensében működési zavar lép fel, úgy a rendszer el fog térni az üzemeltető által rögzített paraméterektől, a folyamatirányítási rendszer pedig a beavatkozó jellemzőkön keresztül próbálja meg visszaállítani az eredeti értékeket, megnehezítve ezzel a rendszer valós és referenciaállapotának összehasonlítását. Szabad állapot a rendszer azon fiktív állapota, ami a referencia állapottal megegyező beavatkozó jellemzők mellett tartalmazza a valós állapotra jellemző működési zavart, így könnyítve meg az indukált hatások kiszűrését.

Diagnosztikai eljárások módszertana

Az eljárás célja az üzemszerűen működő energiaátalakító-rendszerekben bekövetkező tüzelőanyag-fogyasztásnövekedés (hatásfokcsökkenés) okainak feltárása, továbbá az egyes okokhoz tartozó hatások számszerűsítése. Mivel a termoökonómiai diagnosztika alapjait Valero és társai teszik le, az új tudományterület szemléletmódja a kezdetekben sok hasonlóságot mutat az exergetikai költségelmélettel (ECT). A termoökonómiai diagnosztika alapját a nem egyenértékűsíthető irreverzibilitások (exergiarombolás vagy entrópiánövekedés) elve szolgáltatja, aminek részletes ismertetése megtalálható a [1], [2], [3], [4] irodalmi forrásokban.

Energetikai rendszerek teljesítménycsökkenésének diagnosztikáján belül megkülönböztethető termo-mechanikai monitoring eljárás

rás, amely feladata a rendszeren belüli meghibásodások előrejelzése, valamint termodinamikai monitoring eljárás, amely elsősorban a rendszeren belüli anomáliák okozta hatáskromlás elemzésére alkalmas. A termodinamikailag lehetséges exergiarombolás csökkentésének a gyakorlatban technikai és gazdasági korlátai vannak, ezért szükség van egy referenciaállapot létrehozására, amihez a valós rendszerben lezajló irreverzibilitások viszonyíthatók. A teljes rendszer forrásfogyasztás növekménye így a valós rendszer forrásfogyasztásának és a referenciaállapothoz vagy tervezési állapothoz tartozó forrásfogyasztásnak a különbségével fejezhető ki:

$$\Delta F_T = F_T(x) - F_T(x_0) \quad (0.1)$$

ahol x és x_0 a valós rendszer és a referencia állapotú rendszer független változói, amik belső (τ) és külső változókból (ω) állnak. (0.1) átírható az egyes komponensek irreverzibilitásainak összegére:

$$\Delta F_T = \Delta P_T + \Delta I_T = \Delta P_T + \sum_{j=1}^n \Delta I_j \quad (0.2)$$

Mivel azonos mértékű lokális exergiamegtakarítás a rendszer két különböző berendezésében a teljes rendszerre nézve változó energiafogyasztáshoz vezet, így nincs ekvivalencia egy rendszer folyamatai során fellépő irreverzibilitások között, és minél összetettebb a folyamat, ugyanannak a lokális irreverzibilitásnak annál nagyobb a forrásfogyasztásra gyakorolt hatása. Szintén fontos, hogy egy folyamat hatásfokának változása a termelési igény megváltozását okozza, és módosítja a folyamatot megelőző valamennyi egység irreverzibilitását. Ez a hatás, a strukturális rendellenes működés (*structural disfunction*) teremti meg a termoeconomiai diagnosztika létjogosultságát.

TFA analógiáját követve, i -edik berendezés terméke és forrása kifejezhető:

$$P_i = E_{i0} + \sum_{j=1}^n E_{ij}, \quad F_i = E_{0i} + \sum_{j=1}^n E_{ji} \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (0.3)$$

ahol E_{i0} és E_{0i} az i . berendezés környezetbe távozó valamint környezetből érkező exergiaárama, míg E_{ij} és E_{ji} az adott berendezés által a rendszer többi komponensébe juttatott valamint onnan kapott exergiaárama. A teljes rendszerre vonatkozó forrást és terméket (0.4) mutatja.

$$F_T = P_0 = \sum_{j=1}^n E_{0j}, \quad P_T = F_0 = \sum_{j=1}^n E_{j0} \quad (0.4)$$

ECT logikáját követve (0.3) felírható exergetikai költségekre is:

$$P_i^* = E_{i0}^* + \sum_{j=1}^n E_{ij}^*, \quad F_i^* = E_{0i}^* + \sum_{j=1}^n E_{ji}^* \quad i = 0, 1, \dots, n \quad (0.5)$$

Felhasználva [5] szabályait, miszerint külső forrás exergetikai költsége megegyezik annak exergiájával ($E_{00} = E_{0,0}$), továbbá forrás és termék exergetikai költsége azonos ($P^* = F^*$), valamint egy komponens által előállított termékek exergetikai költsége arányos azok exergiájával ($K_{ij}^* = K_{P,i}$, ahol $K_{ij}^* = E_{ij}^* / E_{ij}$), i . berendezés termékének exergetikai költsége felírható alábbi módon:

$$P_i^* = E_{0i}^* + \sum_{j=1}^n K_{P,i}^* E_{ji}^* \quad (0.6)$$

Az i . berendezés termékének fajlagos exergetikai költsége kifejezhető az egyes komponensek fajlagos energiafogyasztásával:

$$K_{P,i}^* = \kappa_{0i} + \sum_{j=1}^n \kappa_{ji} \cdot K_{P,j}^* \quad (0.7)$$

ahol $\kappa_{ij} = E_{ij} / P_i$, valamint felírható a folyamat egyes berendezéseiben létrejött irreverzibilitások összegeként:

$$K_{P,i}^*(x) = 1 + \sum_{h=1}^n \phi_{ih}(x) \quad (0.8)$$

ahol ϕ_{ij} azt a j -edik berendezésben létrejött irreverzibilitást jelöli, ami az i -edik egység egységnyi termékének előállításához szükséges.

A referenciaállapottól eltérő üzemi állapotú rendszer fogyasztásváltozása azonos a rendszert felépítő egységek fajlagos energiafogyasztás változásának ($\Delta K_{ij} = K_{ij}(x) - K_{ij}(x_0)$) összegével. A teljes rendszer referenciától eltérő üzemi állapotának forrásátását szemlélteti (0.9).

$$\Delta F_T = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=0}^n K_{P,j}^*(x) \cdot \Delta \kappa_{ji} \cdot P_i(x_0) + K_{P,i}^*(x) \cdot \Delta \omega_i \right) \quad (0.9)$$

Az i -edik egység fajlagos energiafogyasztás növekedése (ΔK_{ij}) növeli a forrásfogyasztást és az irreverzibilitást $\Delta K_{ij} \cdot P_i(x_0)$ mennyiséggel, ami egyben az i -edik egység működési zavara. A működési zavar költsége a működési zavar okozta külső forrásból származó többletfogyasztás, mennyisége pedig $K_{P,j}^* \Delta K_{ij} \cdot P_i(x_0)$. Bármilyen a rendszerben létrejött $\Delta \omega_i$ termelésváltozás $K_{P,i}^* \Delta \omega_i$ külső forrásváltozást indukál.

Minél összetettebb a termelői folyamat, annál nagyobbak a működési zavar irreverzibilitásának költségei, és annál nagyobb ezen irreverzibilitások forrásfogyasztásra gyakorolt hatásai. Egy egység degradációja ugyanis hatással van a többi egység működésére, így azok irreverzibilitását is változtatja. i -edik komponens irreverzibilitása felírható az alábbi módon:

$$\Delta I_i = P_i(x_0) \cdot \Delta k_i + (k_i(x) - 1) \cdot \Delta P_i \quad (0.10)$$

Ezek alapján egy egységben bekövetkezett irreverzibilitásnövekedés felbontható belső irreverzibilitásra vagy működési zavarra, amit az egység saját fajlagos önfogyasztásának növekedése okoz:

$$MF_{ji} = \Delta \kappa_{ji} \cdot P_i(x_0) \quad MF_i = \Delta k_i \cdot P_i(x_0) = \sum_{j=0}^n MF_{ji} \quad (0.11)$$

valamint külső irreverzibilitásra vagy rendellenes működésre, ahol a lokális forrásfogyasztás növekedését egy másik egység vagy egységek működési zavara miatti termelési igény növekedése hoz létre:

$$DF_i = (k_i(x) - 1) \cdot \Delta P_i \quad (0.12)$$

Az i -edik elem irreverzibilitásának változását szemlélteti az egységfogyasztás függvényében (0.13).

$$\Delta I_i = \sum_{j=0}^n \Delta \kappa_{ji} \cdot P_j(x_0) + \sum_{j=1}^n \phi_{ih}(x) \cdot \Delta \kappa_{hj} \cdot P_j(x_0) + \sum_{j=1}^n \phi_{ij}(x) \cdot \Delta s_j, \quad (0.13)$$

$$i = 1, \dots, n$$

Az egyenlet jobb oldalának első eleme az i -edik komponensben bekövetkezett működési zavar okozta irreverzibilitást, míg a második és harmadik tag az indukált, valamint a termelésben bekövetkezett változás okozta rendellenes működésből származó irreverzibilitás nagyságát mutatja. Mivel ϕ_{ij} a működési zavar súlyfaktora, ami csak a rendszer pillanatnyi állapotától és termelési struktúrájától függ, így

a rendellenes működés önmagában nem javítható, csak az őt indukáló működési zavar csökkentésével. Mivel i -edik elem irreverzibilitása függ működési zavartól és rendellenes működéstől, így a teljes rendszerre vonatkozó forrásfogyasztás növekmény is felírható ezek segítségével:

$$\Delta F_T = \Delta P_T + \sum_{i=1}^n \Delta I_i = \Delta P_T + \sum_{i=1}^n \left(MF_i + \sum_{j=1}^n DF_{ij} \right) \quad (0.14)$$

A működési zavar költsége az a külső többletforrás igény, ami a működési zavar leküzdéséhez szükséges:

$$MF_{ji}^* = k_{p,j}^*(x) \cdot MF_{ji} \quad \text{és} \quad MF_i^* = \sum_{j=0}^n MF_{ji}^* \quad i=1, \dots, n \quad (0.15)$$

A teljes termelés változására gyakorolt forráshatás felírható:

$$MF_0^* = \sum_{i=1}^n k_{p,i}^*(x) \cdot \Delta \omega_i, \quad (0.16)$$

a teljes forráshatás pedig kifejezhető:

$$\Delta F_T = \sum_{i=0}^n MF_i^*. \quad (0.17)$$

Diagnosztikai eljárások jelentősebb módszerei

Hő és villamos teljesítmény egyeztetésén alapuló modell (Reconciliation in heat rate and power v. Reconciliation of 'malfunction' variables - RMV)

Olyan diagnosztikai eljárás, amely az energiaátalakító-rendszerekben bekövetkező meghibásodások okozta teljesítménycsökkenést vizsgálja a rendszer üzemszerű és referencia állapotának összehasonlításával oly módon, hogy a valós állapot szimulációját követően a modell független diagnosztikai változóinak lépésről lépésre történő módosításával éri el a referencia állapotot. A globális mutatókban a független diagnosztikai paraméterek módosítása okozta változások szemléltetik a meghibásodás okozta hatást [6], [7].

Forráshatás modell ('Fuel impact' approach - FI)

Olyan diagnosztikai eljárás, amely a forrásra gyakorolt hatás összefüggésén alapul, ami a komponensek forrásfogyasztását és a teljes rendszer forrásában létrejött változását kapcsolja össze. Az összefüggés közvetlenül nem köthető a rendszeren belüli valós exergiaáramokhoz, a módszer a rendszer termelési struktúrájára épül. A termelési struktúrát a rendszerkomponensek lokális modelljei alkotják, amik a teljes rendszerre felírt termodinamikai modellből analitikus módon kerülnek leképezésre. Forráshatás modell alkalmazásának célja egyrészt, hogy minden hanyatlási függvény-től mentes komponens működési zavarának költsége nulla legyen, másrészt, hogy hanyatlási függvény hatása esetén a komponens működési zavarának költsége azzal a valós többletfogyasztással legyen egyenlő, amiért a komponens felelős. Ez az indukált működési zavar becslése mellett történik [8], [9].

Indukált hatásokról szűrt forráshatás modell (Fuel impact approach with filtration of induced effects - FI-FIE)

Ez az eljárás szeparálja azokat a hatásokat, amik a valós állapot és referencia állapot közötti különbségeket okozzák, így a valós és referencia állapotok azonos kiadott teljesítmény, azonos forrásösszetétel, azonos terhelési állapot és azonos környezeti körülmények között kerülnek összehasonlításra. Mivel az adott üzemi állapotra

vonatkozó indukált hatásokat befolyásolják a hatásokok, valamint a folyamatirányítási rendszerek, ezért az eljárás egy progresszív szűréssel először kiküszöböli a folyamatirányítási rendszerek beavatkozásaiából, majd a komponensek hatásfokgörbéiből adódó eltéréseket. Az így megmaradt hatások már közvetlenül kapcsolhatók a rendellenes működéshez [10], [7].

Jelleggörbe modell (Characteristic curve approach - CC)

CCA modell alap gondolata az, hogy egy tetszőleges komponens rendellenes működése definiálható az adott komponens viselkedését leíró jelleggörbe meghibásodás miatt bekövetkezett változásával. Amíg a jelleggörbe változása berendezés belső működési zavart okoz a komponensben, addig a belső működési zavartól mentes berendezések jelleggörbéi nem változnak. Ugyanakkor új, a névlegestől eltérő működési állapot a referencia jelleggörbén is a névlegestől eltérő hatásfokot eredményez. A módszer azt vizsgálja, hogy egy adott komponens pillanatnyi működési állapota visszavezethető e jelleggörbéjének valamely munkapontjára, mert abban az esetben feltételezhető, hogy az adott berendezés mentes a belső működési zavaroktól [11], [7].

Irodalomjegyzék

- [1] Christos A. Frangopoulos: Exergy, Energy System Analysis, and Optimization, Thermo-economic Analysis (Antonio Valero, César Torres), chapter 2, 2009
- [2] Valero A, Correas L, Rangel V, Zaleta A, Lazzaretto A, Verda V, et al. On the thermo-economic approach to the diagnosis of energy systems malfunctions part-1 the TADEUS problem, Energy 29(12–15), pp.: 1875–1887. 2004.
- [3] Valero A, Correas L, Rangel V, Zaleta A, Lazzaretto A, Verda V, et al. On the thermo-economic approach to the diagnosis of energy systems malfunctions part-2 malfunction definitions and assessment, Energy 29(12–15), pp.: 1889–1907. 2004.
- [4] Sergio Usón, Antonio Valero, Thermo-economic diagnosis for improving the operation of energy intensive systems: Comparison of methods, Applied Energy; 88; pp.: 699-711, 2011.
- [5] Valero A, Lozano MA, Munoz M.: A general theory of exergy saving I. on the exergetic cost, New York, USA: ASME Books; pp. 1–8. 1986.
- [6] Zaleta A, Gallegos A, Rangel V, Valero A., A reconciliation method based on a module simulator. An approach to the diagnosis of energy system malfunctions. Int J Thermodyn; 7(2):51–60., 2004.
- [7] Four approaches compared on the TADEUS (thermo-economic approach to the diagnosis of energy utility systems) test case Energy, 31 (10-11), pp. 1586-1613. 2006.
- [8] Lozano MA, Valero A. Theory of the exergetic cost. Energy; 18 pp.: 939–60. 1993.
- [9] Lozano MA, Bartolome JL, Valero A, Reini M. Thermo-economic diagnosis of energy systems. Proceedings of the third Florence world energy research symposium, Florence; July 1994.
- [10] Verda V, Serra L, Valero A. Zooming procedure for the thermo-economic diagnosis of highly complex energy systems. Int J Appl Thermodyn 5 pp.:75–83. 2002.
- [11] Toffolo A, Lazzaretto A. On the thermo-economic approach to the diagnosis of energy system malfunctions. Indicators to diagnose malfunctions: application of a new indicator for the location of causes. Int J Thermodyn 7(2):41–9. 2004.

Mikrohullámú kezelés hatása a biogázkihozatalra húsipari szennyvíz esetén

Kovács Róbertné

veszelov@mk.u-szeged.hu

A biomassza előkezeléseinek ismeretében, jelen kutatás célja a mikrohullámú kezelés hatásának vizsgálata a szennyvizek anaerob lebonthatóságára, illetve a kezelés energiahatékonyságának vizsgálata. A szennyvízkezelés egy folytonos anyagtovábbítású mikrohullámú egységben történt különböző magnetronteljesítmény, térfogatáram és kezelési idő esetén. A vizsgálatok azt mutatták, hogy minden kezelt minta nagyobb biogázkihozatalt eredményezett, mint a kezeletlen. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a magnetronteljesítmény nem befolyásolja jelentősen a biogázkihozatalt, illetve azonos beállítások esetén a rövidebb kezelési idő jobb energiahatékonytságot mutat.

*

Based on the existing knowledge about pretreatments of biomass, the aim of this study is to investigate the effect of the microwave (MW) pretreatment on wastewater anaerobic biodegradation. In this study energetic investigation of MW treatment was carried out. Treatment was performed in a continuous flow treating system at different irradiation power levels, flow rates and treating time. Experiments indicated that pre-treated wastewater gave higher yield of biogas compared to untreated sample. The results of this study demonstrated that the power of magnetron doesn't caused perceptible difference in yield of biogas. The treating for shorter time is more energy efficient in case of same other settings.

A Föld népességének növekedésével mind a kommunális, mind az iparban keletkező szennyvíz mennyisége növekszik, melynek eredményeképpen egyre nagyobb számú szennyvízkezelő telepre van szükség, illetve a már működő szennyvíztelepek terhelése is folyamatosan nő. A szennyvíztisztítás során a mechanikai kezelés lépésben keletkező nyersiszap, és a biológiai kezelés lépésben keletkező fölös iszap magas szervesanyag tartalma miatt kézenfekvő megoldást jelent annak kezelése során az anaerob fermentáció alkalmazása, amely egy oxigénmentes környezetben végbemenő komplex mikrobiális folyamat. A lebontás során a szerves anyag főként metánná és szén-dioxidá alakul, miközben stabilizálódik, valamint csökken a patogén mikroorganizmusok száma, további adalékanyag hozzáadása nélkül.

Az anaerob fermentáció két fázisban megy végbe (Carucci et al., 2005; Geradi, 2003). Az első fázisban anaerob baktériumok, úgynevezett savképzők a szervesanyag fehérje-, szénhidrát- és zsírtartalmát bontják le. Ez a folyamat hidrolízissel kezdődik, majd a vízoldható anyag biológiai átalakítása történik rövid szénláncú zsírsavvá, alkohollá, ketonná. A második lépésben ezen zsírsavakat alakítják át a metánképző anaerob baktériumok főként metánná és széndioxidá. A gázképződés időbeli lefolyását nagyban befolyásolja a hidrolízis sebessége. A lebontandó anyag megfelelő előkezelésével bontható annak komplex szerkezete, valamint a hidrolizáló enzimeknek fizikai és kémiai akadályt jelentő sejtfalak is feltárhatóak.

Kémiai, biológiai, mechanikai, termikus, előkezelések, illetve ezek kombinációiról bizonyították több esetben, hogy lerövidítik a stabilizációs időt, növelik a biológiai lebomlási folyamat hatékonyságát, javítják a biogáz-kihozatalt (Apul and Sanin, 2010; Kim et al., 2003; Pilli et al., 2011; Rafique et al., 2010; Valo et al., 2004). Szintén több előkezelési módszer hatását vizsgálták a lebontásra, amelyek elsősorban a sejtfalak felbontását és vízoldhatóságának elősegítését célozzák meg. (Andreottola and Foladori, 2006). A tanulmányok mindegyike bizonyította, hogy a sejtfalak feltárással növelhető a szubsztrát lebonthatósága és a lebontás mértéke.

Az előkezelés technika kiválasztásánál figyelembe kell venni a kezelendő szennyvíziszap mennyiségét, az alkalmazott berendezések hely-, és energiaigényét, beruházási-, és üzemeltetési költségeit, valamint lehetőség szerint a károsanyag kibocsátást minimalizálni kell.

A kémiai előkezelés elsődleges célja a foszfor eltávolítása különböző fém-sók adagolásával, ezzel a befogadók eutrofizáció elleni védelme. A másik, egyre inkább előtérbe kerülő cél a szennyvíz szervesanyag tartalmának csökkentése. A szennyvízhez adagolt vegyszerek kicsapószerként viselkednek, ezzel a szennyvíz lebegőanyagtartalma a koaguláció-flokkuláció, valamint a fázisszétválasztás folyamatai révén könnyebben eltávolíthatók, így nagyobb mennyiségben kerülnek a szennyvíziszapba, így az anaerob fermentáció során nagyobb mennyiségben keletkezhet biogáz.

A biológiai előkezelésnek két célja lehet: olyan mikroorganizmusok adagolása, amelyek lebontják a polimereket, illetve a lassú metánképző baktériumok tevékenységének gyorsítása.

Mechanikai előkezelés során nem történik további adalékanyag hozzáadása, vagy csak csekély mértékben, így minimalizálható a károsanyag kibocsátás. Ezen kezelési technikák közé tartoznak a kolloid állapotú anyagok aprítására alkalmas nedves-aprító berendezések, illetve azok az eljárások, melyek során kis keresztmetszeten való átréssel, intenzív keveréssel, vagy ultrahang segítségével nagy nyírófeszültségnek teszik ki az anyagot.

Több kutatás foglalkozik a termofil fermentáció alkalmazásával mezofil helyett. Ezzel a lebontási folyamat valóban teljesebbé tehető, azonban a befektetett többletenergiát nem kompenzálja a keletkezett többlet metán mennyisége. (Barótfi, 2000). Másik hátránya, hogy a termofil baktériumok érzékenysége nagyobb (Eder és Schulz, 2006).

A szennyvíz előkezelési technikák között a mikrohullámú kezelés viszonylag újnak mondható termikus eljárás, azonban az ilyen módszerrel kezelt anyagból kinyert biogáz mennyisége nagyobb az ugyanolyan hőmérsékletre hagyományos módszerrel melegített minták esetén. Ez arra utal, hogy a termikus hatások mellett egyéb hatások is érvényesülnek.

A fenti ismertetett előkezelések szennyvíziszapra vonatkoznak, de a szennyvíz, amelyből a szennyvíziszapot leválasztásra kerülnek szintén jelentős szervesanyagtartalommal rendelkeznek, amelyek anaerob lebontása az ártalmatlanítás mellett kinyerhető energiát eredményezhet biogáz formájában.

Anyag és módszer

Anyag

Húspari szennyvíz

A húspar minden hulladéka, így a húspari szennyvíz is veszélyes hulladék. Az élelmiszeriparban keletkező szennyvizek közül a legnagyobb koncentrációban tartalmaz szennyezőket pl.: vér, állati fehérje, zsír, csontszilánkok, húsdarabok, szőr, bélsár, patogén mikroorganizmusok. A magas szennyezettség miatt teljeskörű szennyvíztisztítást kell végezni mielőtt a vizet a fogadóba engedik.

Kísérleteink során a Pick Szeged Zrt. szegedi telepéről származó húspari szennyvizet kezeltük.

Módszer

A szennyvízminták mikrohullámú kezelése

A szennyvízmintákat a Szegedi Tudományegyetem Folyamatmérnöki Intézetében kifejlesztett folytonos anyagtovábbítású mikrohullámú kezelő berendezésben kezeltük. A rendszer legfontosabb része a toroid-rezonátor, ahol a mikrohullámú kezelés történik. Ehhez kapcsolódik csőtápvonalon keresztül egy 2450 MHz frekvencián működő vízhűtéses magnetron, melynek teljesítménye állítható.

Az készülékben az anyagtovábbítás egy perisztaltikus szivattyúval történik, melynek fordulatszáma változtatható, így a kezelt anyag térfogatáramát a kívánt értékre tudjuk beállítani.

A kezelt anyag dielektromos tulajdonságainak vizsgálatára a kezelőrendszerhez kapcsolt dielektrométer segítségével van lehetőség.

A kezelő berendezéshez kapcsolódik egy mérő-adatgyűjtő rendszer, amely a rezonátor előtti és után anyaghőmérsékletet, illetve a dielektromos tulajdonságok mérési adatait gyűjti, dolgozza fel.

A kezelések során beállított paraméterek értékei az 1. táblázatban láthatóak. A 6 l/h térfogatáram beállításánál a 850 W magnetron teljesítmény esetén a 3000 s kezelési idő nem volt megvalósítható az anyag intenzív melegegése miatt.

A befektetett energia értékének kiszámításához a beállított magnetron értékeket, illetve a besugárzás idejét használtuk fel.

$$E = P_M \cdot t \quad (1)$$

P_M – magnetron teljesítménye [W]

t – besugárzási, kezelési idő [s]

1. táblázat.

Sorszám	q_v [l/h]	Magnetron teljesítmény [W]	Kezelési idő [s]	Befektetett energia [kJ]
1.		Kontroll		
2.	6	850	600	510
3.	6	350	3000	1050
4.	6	350	600	210
5.	25	850	720	612
6.	25	850	144	122,4
7.	25	350	720	252
8.	25	350	144	50,4

Fermentáció

A fermentáció 38°C-on, mezofil hőmérséklettartományban történt. A kezelendő szennyvíz egy biogázrothasztóból származó anaerob

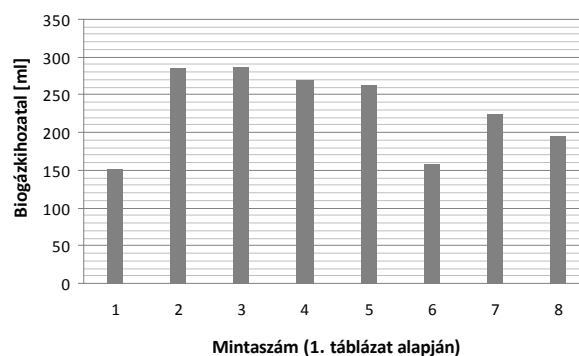
iszappal került beoltására. A biogázhozam mérése egy BOI OxiTop PM típusú manometrikus elven működő 12 férőhelyes, folyamatosan kevertetett mérőrendszerben történt.

Eredmények

Biogázkihozatal

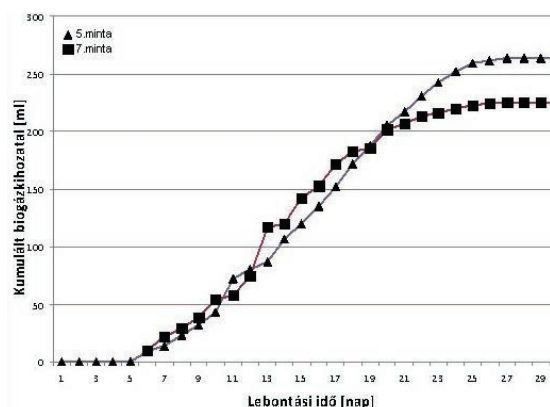
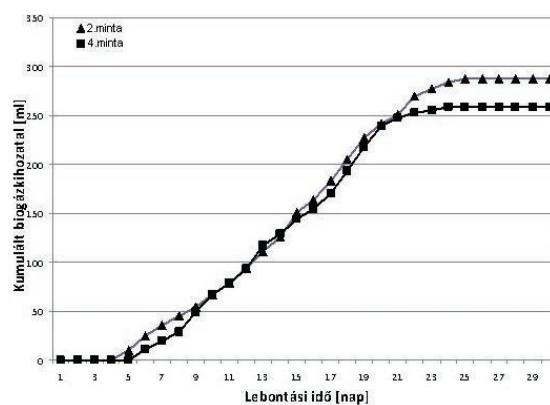
A kísérletek során a mikrohullámú kezelésnél beállított magnetron teljesítmény, térfogatáram és az alkalmazott kezelési idő anaerob fermentációra gyakorolt hatásának vizsgálatára került sor. Ezek jellemzésére a biogázkihozatal mérése történt, ezen eredmények láthatóak a különböző kezelési paraméterek feltüntetésével (1. ábra).

Mindegyik kezelt minta esetén nagyobb biogázkihozatal adódott a kezeletlen (1.) minta esetén.



1. ábra. Biogázkihozatal különböző kezelési paraméterek esetén

A magnetron teljesítmény hatását láthatjuk a 2. ábrán (a, b). Annak ellenére, hogy a nagyobb beállított érték több mint kétszerese a kisebb beállított értéknek, a hatás nem jelentős.



2. ábra. Magnetron teljesítményének hatása a kezelt minták esetén

Fajlagos energiaigény

Az előzetes vizsgálatok a magnetronteljesítmény beállításának hatására világítanak rá, de energetikai vizsgálat nélkül a kapott eredmények, és értékelésük nem teljeskörűek.

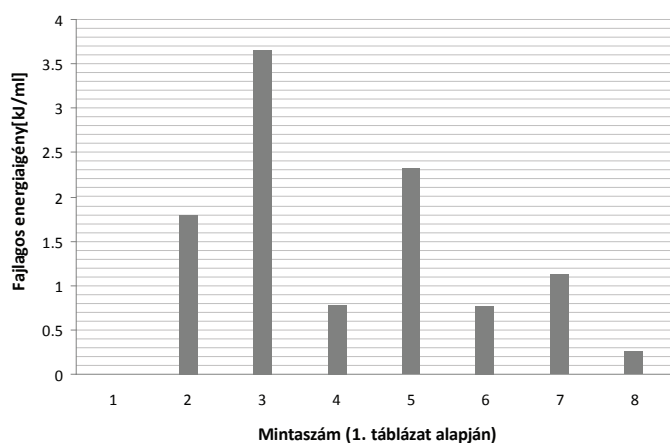
Mivel a kezelési paraméterek, és ennek következtében az energiafelhasználás nagyon különböző, ezért a fajlagos energiaigény vizsgálata válik indokolttá.

$$FEI = \frac{E}{BK} \quad (2)$$

FEI – fajlagos energiaigény [kJ/ml]

BK – biogázkihozatal [ml]

Az energetikai vizsgálatok eredményei a 3. ábrán láthatóak. Ezek alapján láthatjuk, hogy a 4., 6. és 8. minta esetén a legkedvezőbbek a kapott értékek. Mindhárom esetben az adott térfogatáramhoz tartozó kisebb kezelési idő tartozott, így azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a rövidebb tartózkodási idő kedvezőbb energetikailag.



3. ábra. Fajlagos energiaigény az egyes minták esetén

Köszönetnyilvánítás

Munkámat az OTKA K105021 pályázat támogatja.

Felhasznált irodalom

- [1] Andreottola, Gianni, and Paola Foladori. (2006). A review and assessment of emerging technologies for the minimization of excess sludge production in wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Science and Health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering* 41 (9), 1853-72.
- [2] Apul, O.G. and Sanin, F.D., 2010. Ultrasonic pre-treatment and subsequent anaerobic digestion under different operational conditions. *Bioresource Technology* 101, 8984-8992.
- [3] Barótfi I. *Környezettechnika*, 2000. Mezőgazda Kiadó
- [4] Bien, J. B., Malina G., Bien J.D., Wolny L., 2004., Enhancing anaerobic fermentation of sewage sludge for increasing biogas generation. *J. Environ. Sci. Health Part A-Toxic/ Hazard. Subst. Environ, Eng.*, 39 (4), 939-949.
- [5] Bougrier, C., Carrère H., Delgenés J.P., 2005., Solubilisation of waste-activated sludge by ultrasonic treatment *Chem. Eng.J.*, 106 (2) 163-169.
- [6] Eder B., Schulz H., *Biogázgyártás 2005.*, Cser Kiadó
- [7] Erden G., Filibeliu A., 2009., Ultrasonic, Pre-treatment of biological sludge: consequences for disintegration, anaerobic biodegradability, and filterability., *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 85(1) 145-150.
- [8] Kim, J., Park, C., Kim, T.H., Lee, M., Kim, S., Kim, S.W. and Lee, J., 2003. Effects of various pre-treatment for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 95 (3), 271-275.
- [9] Kopp J., Müller J., Dichtl N., 1997. Anaerobic digestion and dewatering characteristics of mechanically disintegrated sludge. *Schwedes : Water Sci. Technol.*, 36 (11), 129-136.
- [10] Pili, S., Bhunia, P., Yan, S., LeBlank, R.J., Tyagi, R.D. and Surampalli, R.Y., 2011. Ultrasonic pre-treatment of sludge: A Review. *Ultrasonics Sonochemistry* 18, 1-18.
- [11] Rafique, R., Poulsen, T.G., Nizami, A., Asam, Z., Murphy, J.D. and Kiely, G., 2010. Effect of thermal, chemical and thermo-chemical pre-treatments to enhance methane production. *Energy* 35, 4556-4561.
- [12] Valo, A., Carrère, H. and Delgenés, J.P., 2004. Thermal, chemical and thermo-chemical pre-treatment of waste activated sludge for anaerobic digestion. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 79, 1197-1203.

KÖZLEMÉNY

Minden uniós jogi előírással összhangban van a földgáztörvény tervezett módosítása



A változtatási javaslat a piacra lépés európai szinten is magas, versenytorzító hatású korlátainak lebontását szolgálja.

A földgázellátásról szóló 2008. évi XL. törvény hatályos rendelkezései szerint kizárólag rendszerüzemeltetési engedéllyel rendelkező társaságok végezhetnek szállítóvezeték építési beruházást Magyarországon. Rendszerüzemeltetési engedélyt azonban csak a már vezetékkel rendelkező társaságok kaphattak, így ez európai szinten is magas, a szabad versenyt torzító belépési korlátot jelent a földgázellátást javító infrastruktúra beruházások terén.

Nemzeti, stratégiai cél az ellátásbiztonság javítása minden lehetséges eszközzel, hiszen a több vezeték, több forrás kiegyensúlyozott hozzáférést biztosít a földgázhoz Magyarország számára. A módosítási javaslat annak lehetőségét szélesíti, hogy ki jogosult részt venni egy földgázszállító-vezeték fizikai kivitelezésében, ettől azonban külön kell választani a későbbiekben felmerülő üzemeltetési kérdéseket. Ennek megfelelően a kezdeményezés összhangban van minden uniós jogi előírással, egyebek mellett a harmadik energiacsomaggal is.

Nemzeti Fejlesztési Minisztérium
Kommunikációs Főosztály

Kísérleti berendezés kifejlesztése napkollektorok hatásfokának mérésére

Péter Szabó István, Szendrő Péter, Szabó Gábor

pszi@mk.u-szeged.hu

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán 2005 óta foglalkozunk napkollektorok tervezésével. Saját fejlesztésű kollektorunkat a gyártó céggel közösen több ipari kiállításon is bemutattuk, és kereskedelmi forgalomban is kapható (1. ábra). Kollektoraink vizsgálatára, illetve a napkollektorokkal kapcsolatos egyéb kutatásaink céljára saját mérőberendezést fejlesztettünk ki. Kutatásunk célja korábbi kísérleteink eredményeire alapozva a kollektorok üzemi jelenségeinek vizsgálata, valamint a természetes körülmények közt végzett mérésekkel történő hatásfok vizsgálat lehetőségeinek és korlátainak feltárása.

*

At the University of Szeged Faculty of Engineering we design solar collectors since 2005. Together with the manufacturer we introduced our own-designed commercial collectors on several industrial exhibitions (Fig. 1). For the tests of our collectors and for other researches about collectors we designed an own measuring equipment. Based on the results of previous experiments the aim of our research is the analysis of the working effects of solar collectors and the identification of the capabilities and limits of the efficiency measuring in outdoor conditions.



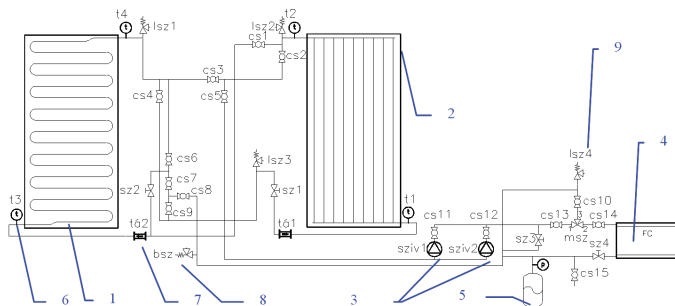
1. ábra. A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán tervezett kollektor

Kísérleti berendezés

A mérések pontosságát illetően korlátot jelent az időjárás változékonysága. A napsugárzás intenzitásának ingadozása pontatlaná teheti a méréseket. Méréseink igazolják ezen zavaró tényezőt. Kísérleteinkkel meg kívántuk határozni a pontos, számszerű kritériumokat a mérésre alkalmas időszakok napsugárzási intenzitását illetően.

A kollektorokban keringtetett fagyálló folyadék térfogatáramát impulzus adatgyűjtőkkel regisztráltuk. Az esetleges kimaradó impulzusok a térfogatáram és így a hatásfok mérését pontatlanná tehetik. Egy-egy regisztrált érték pontatlansága kis számú impulzuskimaradás esetén üzemi körülmények közt nem okoz lényeges hibát, nincs nagy hatása például a havi energiahozam meghatározására. A hatásfok mérése során viszont ezek a hibák problémát okoznak, ezért ki akartunk fejleszteni egy eljárást a térfogatáram-görbék automatikus javítására.

A kollektorok vizsgálatához a 2. ábrán látható mérőberendezést fejlesztettük ki.



2. ábra. A kísérleti mérőberendezés felépítése.

- 1 – kollektor csőhígyós abszorberrel, 2 – kollektor osztó-gyűjtős abszorberrel, 3 – keringtető szivattyúk, 4 – termostabilizátor, 5 – táglási tartály, 6 – hőmérők, 7 – térfogatáram-mérők, 8 – biztonsági nyomáshatároló szelep, 9 – légtelenítő szelepek

A kapcsolással lehetséges a két kollektor párhuzamos és soros üzemeltetése, soros kapcsolásnál tetszőleges sorrendben. Lehetőség van az egyes kollektorok kizárására is. A berendezés működtethető szabályozatlan, vagy kilépő hőmérsékletre szabályozott üzemmódokban a keringtető szivattyúk (3) segítségével.

A kollektorok hatásfoka a napsugárzás intenzitásának és a környezethez viszonyított hőmérséklet-különbségnek a függvénye. A mérések segítségével a kollektorok hatásfokfüggvényét a két független változó minél nagyobb értéktartományán belül kívánjuk definiálni. A méréseket természetes körülmények közt végeztük, mesterséges fényforrást nem alkalmaztunk, így a sugárzás intenzitását nem befolyásolhattuk. A másik változó, a környezethez viszonyított hőmérséklet-különbség hatékonyan szabályozható a rendszerbe kötött termostabilizátor (4) segítségével, melyen keresztül a kollektor által termelt hő a környezetbe távozik.

A berendezést két szivattyúval láttuk el, az egyik szivattyú a folyadék hőmérsékletének megfelelően szabályozza a térfogatáramot, a másik szivattyú nem végez szabályzást. A két szivattyú közül egyszerre csak az egyik üzemel.

A térfogatáram-mérők (7) a hagyományos turbina-rendszerű vízárártól eltérően forgódugattyús, térfogat-kiszorítás elvén működő eszközök, melyekkel már rendkívül alacsony, 7,5 l/h térfogatáram is mérhető. A mérőberendezésekre szerelt impulzusjeladók literenként jeleznek. Az impulzusjeleket kétcsatornás adatgyűjtővel mentettük. A térfogatáram-mérők pontossága ± 2 tf. %.

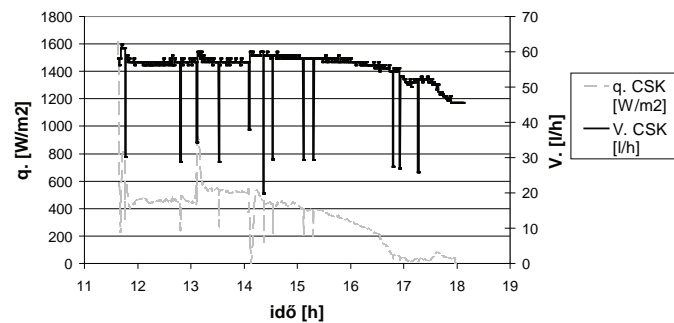
A hőmérsékleteket K-típusú termoelemekkel mértük. A termoelemek hőmérséklet-adatait Testo 177-T4 adatgyűjtővel regisztráltuk. A mérési pontosság $\pm 0,3$ °C.

Az 1. ábrán jelölt hőmérséklet- (6) és térfogatáram-mérőkön (7) kívül mértük a környező levegő hőmérsékletét és páratartalmát, illetve a napkollektorok közé, azok síkjával megegyező helyzetben rögzített Lambrecht 16131 típusú piranométerrel a globális napsugárzás intenzitását.

A mérések során 5 másodpercenkénti mentést alkalmaztunk, mely gyakoriság a tranziens jelenségek vizsgálatát is lehetővé teszi. Ezen megfigyeléseinket tudományos közleményben részletesen ismertettük (Péter Szabó, Szabó, 2011a, Péter Szabó, Szabó, 2011b).

Impulzuskiaradások automatikus javítása

Tapasztalataink szerint minden mérés alkalmával előfordul impulzuskiaradás (3. ábra). Ezen hibákat az eredmények feldolgozása során javítani kell.



3. ábra. Impulzusjel-kimaradások okozta hibák a térfogatáram és a fajlagos kollektorteljesítmény függvényein

A térfogatáram a 3. ábrán bemutatott napi mérés során 12 alkalommal hirtelen a felére csökkent, majd ugrásszerűen ismét az eredeti értéket vette fel. Ezek az ugrásszerű változások a térfogatáram-mérés egy-egy impulzusának kimaradására utalnak. Természetesen, ahogy a diagramon is jól kivehető, a térfogatáram hibái egyben a számított hőteljesítmény hibáit jelentik. Az adatfeldolgozás során ezen hibás térfogatáram adatokat tehát javítani kell. Az adatfeldolgozás során a következő módszert alkalmaztuk: amennyiben egy térfogatáram-adatnak, valamint a megelőző és következő két adat átlagának hányadosa $2/3$ vagy annál kisebb, impulzuskiaradást tételezünk fel, és a hibás adatot ezen megelőző kettő és következő kettő adat átlagával helyettesítjük:

$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} > \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}'_i = \dot{V}_i \quad (1)$$

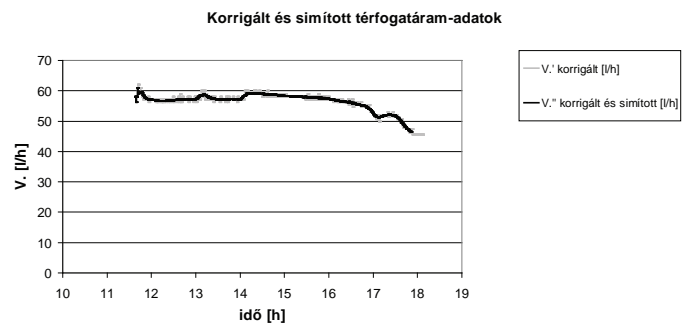
$$\frac{\dot{V}_i}{\frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4}} \leq \frac{2}{3} \Rightarrow \dot{V}'_i = \frac{\dot{V}_{i-2} + \dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{i+1} + \dot{V}_{i+2}}{4} \quad (2)$$

A térfogatáram-görbe simítása

A térfogatáram-adatok pontatlanságának másik oka az impulzusonkénti átlagolásból adódik: két impulzusjel közt állandónak feltételezett térfogatáram nem mindig pontos. Ezen hiba csökkentésére az impulzuskiaradások korrekcióját követően a görbe simítását vezettük be. Az impulzusjelek alapján számolt adatokat az egyes időpillanatokban a megelőző két és a következő két adat átlagával helyettesítettük.

$$\dot{V}_i'' = \frac{\dot{V}_{i-2}' + \dot{V}_{i-1}' + \dot{V}_{i+1}' + \dot{V}_{i+2}'}{4} \quad (3)$$

A 4. ábra az ilyen módon simított görbét hasonlíttja össze a korrigált görbével:



4. ábra. Térfogatáram-adatok az impulzuskiaradások korrekcióját, valamint a görbe simítását követően

Felhőmentes időszakok megjelölése

Kutatásaink bizonyítják, hogy a felhős időszakok a pillanatnyi hatásfok értékének meghatározásakor hibát eredményeznek.

A napsugárzás intenzitásának változását az alkalmazott piranométer 18 másodpercen belül érzékeli. A kollektorok tömege, így hőtehetetlensége jóval nagyobb, mint a piranométeré, azok reakciója tehát jóval lassabb. Ennek következtében egy bárányfelhő hatására bekövetkező napsugárzás-csökkenés ideje alatt a kollektorból a megelőző időszak hatására távozó hőteljesítmény a pillanatnyilag már lecsökkent napsugárzás intenzitásra vonatkoztatva a számításokban hibát okoz.

A diagramokon jól láthatóak a felhős időszakok, de a nagy mennyiségű mért adat gyors feldolgozásához szükséges egy logikai függvény definiálása, mellyel megállapítható egy napi mérésről, hogy mely időszakai minősíthetők felhőmentesnek. Ezen függvény beállításához egy olyan mérési napot választottunk ki, mely felhős és felhőmentes időszakokat egyaránt tartalmaz.

Első lépésként meghatároztuk a napsugárzás intenzitás változásának fajlagos értékeit:

$$\Delta G_{fajl} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \quad (4)$$

Ha a napsugárzás ezen fajlagos változása meghaladt egy felvett értéket, azt az időpontot a függvénnyel felhősnek jelöltük meg. Több próbát követően ezen értéket 0,05-ra vettük fel.

A logikai függvény megfelelően szűri ki a délelőtti rövid felhős időszakokat, de a felhős időszakok egyes rövid intervallumait felhőmentesnek jelöli. A küszöbérték növelésével a probléma nem kerülhető el.

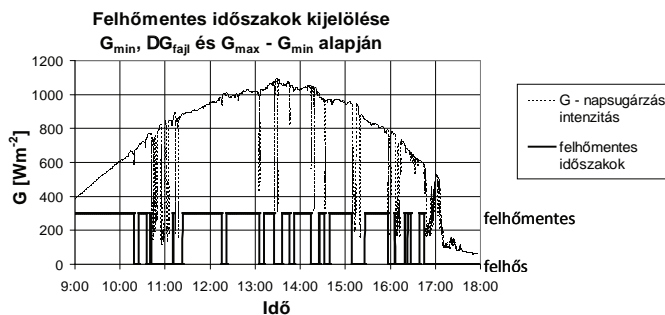
Az eddigieket azzal a kritériummal egészítettük ki, hogy egy időpillanat felhőmentes megjelöléséhez a megelőző 5 percnél is meg

kell felelni a ΔG_{fajl} küszöbértékével leírt követelménynek. Ezen módszer megszünteti a korábbi hibás, felhőmentes kijelöléseket.

Egy másik logikai függvényt is felírtunk, mely szintén a megelőző ötperces időszakokat vizsgálja, de nem relatív, hanem abszolút sugárzásváltozás szerint. Azon időpillanatokat jelöli felhőmentesnek, melyekre fennáll az, hogy a megelőző öt percben a sugárzás intenzitásának maximuma és minimuma közt nem nagyobb a különbség 50 W/m^2 -nél. Több kísérlet alapján ez az érték megfelelő.

A pontos kijelölést ezen két függvény kombinációjával tehetjük meg. A legpontosabbnak mondható függvény az, amely ezen két előző megoldást egyesíti: azon időpontokat jelöli felhőmentesnek, melyeknél a megelőző öt perc teljesíti az abszolút és relatív eltérésekre felírt, korábban ismertett kritériumokat.

Fentieket kiegészítettük egy elvárt minimális sugárzás intenzitás előírásával, mivel korábbi mérések alapján az igen alacsony napsugárzás értékek szintén pontatlanná teszik a számítást: az eredmények szórása növekszik. Más források szerint is a 200 Wm^{-2} napsugárzás intenzitásánál kisebb értékekhez tartozó eredmények eltávolítása növeli a mérések pontosságát (A. Lester et. al., 2006). Az ASHRAE szabvány előírásai szerint az előírt minimális napsugárzás a mérések során 630 Wm^{-2} (ASHRAE, 1977). Az adatfeldolgozás során mi is azt tapasztaltuk, hogy 600 Wm^{-2} napsugárzás intenzitás alatt a mérés pontatlanná válik, az eredmények szórása jelentősen növekszik. A három kritérium alapján létrehozott logikai függvény működését az 5. ábra mutatja be.



5. ábra. Felhőmentes időszakok kijelölése abszolút és relatív kritériumok alapján

A logikai függvény által előírt három feltétel, melyeknek egy adott időpontra nézve a megelőző ötperces időszakok alatt kell teljesülniük:

$$\Delta G_{fajl} = \frac{G_i - G_{i-1}}{G_i} \leq 0,05 \quad (5)$$

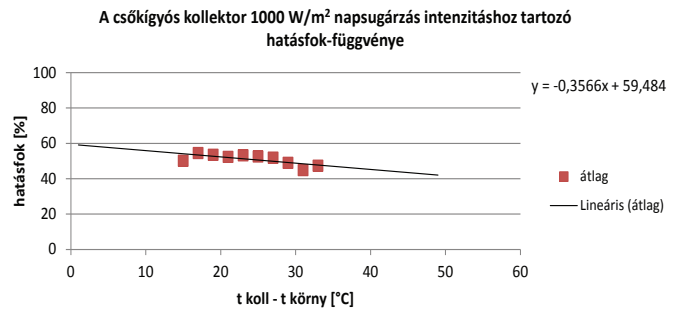
$$G_{max} - G_{min} \leq 50 \frac{W}{m^2} \quad (6)$$

$$G_{min} \geq 100 \frac{W}{m^2} \quad (7)$$

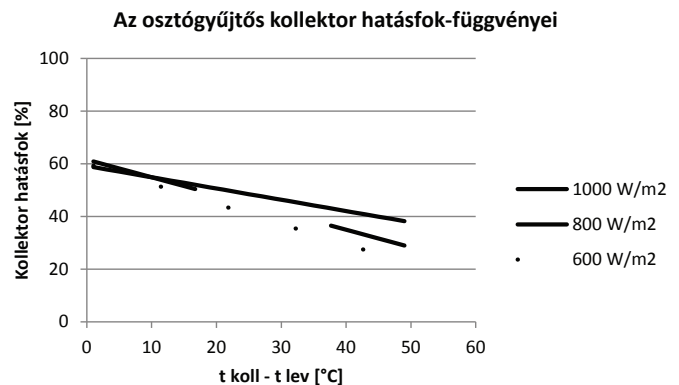
A mérések során létrehozott adatbázisból lekérdezésekkel felvehető a kollektorok hatásfok-diagramja. A hatásfok függvényeinek előállításához a következő lekérdezést használtam az adatbázisban:

1. táblázat. Az adatbázis szűrési paraméterei az 1000 Wm^{-2} -es napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvények előállításához

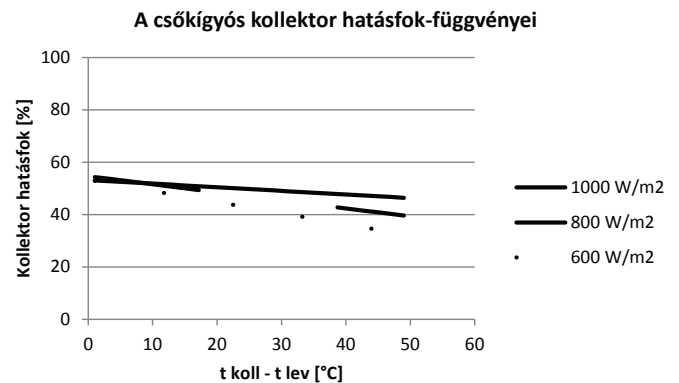
G maximális eltérése	$\pm 10 \text{ Wm}^{-2}$
t _{ki} - t _{be}	$> 5^\circ\text{C}$
felhőmentes idő	igen
borítás	Makrolon mUV 10-es borítás
napsugárzás beesési szög függőleges síkban	tetszőleges



6. ábra. 1000 Wm^{-2} napsugárzás intenzitáshoz tartozó hatásfok-függvény – csőkígyós abszorberrel szerelt kollektor



7. ábra. Az osztógyűjtős kollektor hatásfok-függvényei különböző napsugárzás intenzitás értékekre



8. ábra. A csőkígyós kollektor hatásfok-függvényei különböző napsugárzás intenzitás értékekre

Összefoglalás

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán olyan mérőberendezést fejlesztettünk ki, mellyel a napkollektorok hatásfok-függvényei természetes körülmények közt felvehetőek. A berendezés összeállítását követően az első méréssorozatok kiértékelése során megállapítottuk a mérési hibák okait, majd logikai függvények felírásával ezen hibákat kiküszöböltük. Megszüntettük a kimaradó impulzusjelek okozta hibákat a térfogatáram mérését illetően, megállapítottuk a pillanatnyi hatásfok mérésére alkalmas felhőmentes időszakok jellemzőit. A mérési adatbázis megfelelő szűrésével felvettük a kísérleti kollektorok hatásfok-függvényeit. A kísérletek során tanulmányoztuk a kollektorok üzemi jelenségeit.

Irodalomjegyzék

- [1] A. Lester, D.R. Myers, (2006): A method for improving global pyranometer measurements by modeling responsivity functions. *Solar Energy* 80 (2006) 322–331
- [2] Methods of testing to determine thermal performance of solar collectors, ASHRAE STANDARD 93-77, ASHRAE, 345 East 47th street, New York 10017, 1977.
- [3] Péter Szabó, I. – Szabó, G. (2011a): Research of Solar Energy at the Faculty of Engineering University of Szeged. X. Wellmann International Scientific Conference. 5th May, 2011
- [4] Péter Szabó, I. – Szabó, G. (2011b): Transient effects in solar collector systems. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara*, 2011/3 pp. 111-114. ISSN 1584 - 2673

A NER-300 második pályázati felhívásának nyertesei

A NER-300 program második pályázati felhívásának keretén belül az Európai Bizottság körülbelül 1 milliárd euró támogatást ítelt oda 19 megújuló energiahordozókkal, illetve alacsony szén-dioxid kibocsátású technológiákkal foglalkozó projektek részére.

A támogatást az EU Emisszió Kereskedelmi Rendszerének (ETS) kvótakereskedelme fogja fedezni, mellyel a Bizottság szerint „a szennyezők fogják fedezni az új alacsony szén-dioxid kibocsátású kezdeményezések fejlesztését”. Az 1 milliárd eurós támogatás várhatóan további 900 milliós magántőkét is jelent a szektorban. A második kör által támogatott tervek beruházási döntései 2016. júniusáig kell megszülessenek, az üzembeépítés határideje pedig 2018. júniusáig.

A legnagyobb támogatási összeget (300 millió euró) a 426 MWe beépített teljesítményű White Rose oxyfuel projekt kapta (Drax széntüzelésű erőmű, Yorkshire, Anglia), mely mára az egyetlen a NER-300 első és második körének 39 nyertes CCS projektje közül. A projektet az Alstom, Drax és BOC cégek konzorciuma a Capture Power szoros együttműködésben fejleszti a National Grid céggel, mely a szén-dioxid szállítása és betárolás infrastruktúrájáért felelős. A White Rose az elképzelések szerint 426 MWe bruttó beépített teljesítményű, ultraszuperkritikus, oxyfuel tüzelésű demonstrációs szénerőmű, melyből csővezetéken keresztül évente 2 millió tonna szén-dioxid kerül betárolásra az Északi-tenger geológiai tárolójában (a szállítási infrastruktúra teljes tervezett kapacitása 17 millió tonna/év). A tervezett létesítési idő 4 év, várhatóan jövőre indul és az erőmű 2019-ben kezdheti meg a működést. A második kör számára meghatározott határidők láthatóan épp a White Rose projekt esetén okozhatnak majd gondot.

A második pályázati felhívás keretében a következő projektek nyertek még támogatást:

- Bio2G (Svédország) - szintetikus földgáz (SNG) termelés projekt (200 MWt, fa biomassa, 203,7 millió €);
- Puglia Active Network (Olaszország) - okos hálózat

(smart grid) projekt (85 millió €);

- NEMO (Martinique) - 16 MWe óceáni termikus erőmű (72,1 millió €);
- EOS Green Energy (Ciprus) – 50 MWe koncentrátoros naperőmű (CSP) túlhevített gőzkörfolyamattal és grafit alapú hőtárolással (60,2 millió €);
- Mazara Solar (Olaszország) – 50 MWe telített gőzös naptornyos CSP erőmű (40 millió €);
- MET (Dánia) – szalma alapú metántermelés (39,3 millió €);
- FloCan5 (Spanyolország) – 25 MWe úszó szélerőmű park (34 millió €);
- BALEA (Spanyolország) – 26 MWe úszó szélerőmű park (33,4 millió €);
- W2B (Spanyolország) – kommunális hulladékból (MSW) termelt bioüzemanyag (29,2 millió €);
- TORR Rakke (Észtország) – faelgázosításos kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés (25 millió €);
- WestWave (Írország) – 5x1 MWe hullámenergia-hasznosítás (23,3 millió €);
- GEOSTRAS (Franciaország/Németország) – 6,7 MWe/34,7 MWe geotermikus erőmű (16,8 millió €);
- Geothermae (Horvátország) – 3,1 MWe geotermikus forró sóoldat ORC körfolyamattal (14,7 millió €);
- Green+ (Ciprus) – microgrid rendszer (11,1 millió €);
- SWELL (Portugália) – 5,6 MWe oszcilláló vízoszlop elvén működő hullámenergia-átalakító berendezések (9,1 millió €);
- Santa Luzia Solar Farm (Portugália) – 24 MWp koncentrátoros napelem-park (8 millió €);
- Parnu (Észtország) – fa biomassa gyors pirolízise olajjá kapcsolt hőenergia-hasznosítással (6,9 millió €);
- kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés (CHP) biomassa pirolízissel (Lettország) – hasonló a Parnu projekthez (3,9 millió €).

Forrás: www.modernpowersystems.com

Távhőrendszeri keringtető szivattyú cserék¹

Orbán Tibor

okl. gépészmérnök, torban@fotav.hu

Gurka Szilárd

okl. gépészmérnök, sgurka@fotav.hu

László Tamás

okl. vegyipari mérnök, tamas_laszlo@chello.hu

A FŐTÁV a távhőt a fűtőműveitől távhővezetéken keringtetett forróvíz útján juttatja el a felhasználók épületeiben levő ún. hőközpontokig. A Főtáv fűtőműveinek és szivattyúállomásainak villamosenergia-fogyasztása mintegy 7.000 MWh-t, amely a teljes villamosenergia felhasználásának csaknem 21%-a. A fűtőművek építése óta jelentősen csökkent hőigényekkel együtt a keringtetett térfogatáram lecsökkent, ezért az energetikailag hatékonyabb keringtetés érdekében a FŐTÁV a fűtőművi szivattyúk cseréjét határozta el, amelyet 2010-ben meg is kezdett. Az elvégzett cserék 2013-ban már értékelhető eredményt hoztak.

*

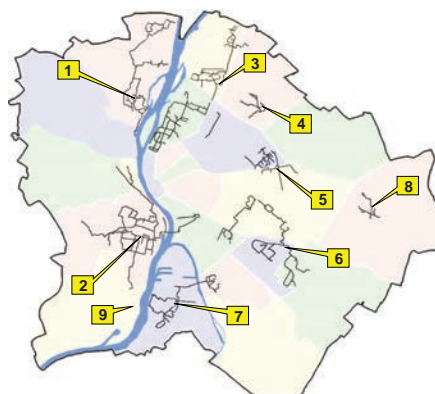
FŐTÁV transports district heat from the central heating plants to the costumers heating centers via hot water pipelines. The electricity consumption of the pumps is around 7000 MWh pro year, 21% of the total electricity consumption of FŐTÁV. Since the installation of the district heating heat demand dropped significantly requiring lower volume flow. Therefore FŐTÁV decided to replace the old circulating pumps and begun the work in 2010. The replacement first yielded valuable results in 2013.

A FŐTÁV fő tevékenysége a főváros 17 kerületére kiterjedő távhőszolgáltatás, amely tulajdonképpen a felhasználók fűtési és használati melegvíz célú hőigényének kielégítéséhez szükséges hőszolgáltatást jelent a kiépített távhőrendszereken keresztül. Távhőrendszereinkben a saját fűtőműveinkben előállított, valamint a kis- és nagyerőművektől vásárolt hőenergiát mintegy 530 km nyomvonal-hosszúságú nagyrészt földbe fektetett távhővezeték hálózaton keresztül juttatjuk el 238 000 lakossági és 6 600 egyéb (intézményi, kommunális, szolgáltatási és ipari) felhasználónkhoz. A fűtőművekből a hő a távhővezetékben keringtetett forróvíz útján jut el a hőközpontokig, ahol aztán átalakításra kerül fűtési és használati melegvíz célú felhasználásra alkalmas formába.

A Társaság 2012. évi teljes villamosenergia-felhasználása 33.691 MWh volt, amelyből a Főtáv fűtőműveinek és szivattyúállomásainak villamosenergia-fogyasztása 6.996 MWh-t, azaz csaknem 21%-ot tett ki. Ezen adatok alapján fontos, hogy ezt a számottevő energiamennyiséget milyen energetikai hatékonysággal hasznosítjuk.

A fűtőművi villamosenergia-felhasználás túlnyomó része, a szivattyúállomásainknak pedig szinte a teljes mennyisége a távhőrendszerek keringtető szivattyúinak működtetéséből ered.

A FŐTÁV az Észak-budai, a Fűredi, az Újpalotai a Rákoskeresztúri és a Rózsakerti távhőrendszereiben, valamint a tömbkazanházaiban végzi a távhőszolgáltatást saját fűtőműveivel és keringtető szivattyúival. További nyomásfokozó szivattyúi üzemelnek a Kelenföldi és Észak-pesti távhőrendszereiben. A távhőrendszerek elhelyezkedését az 1. ábra mutatja.



- 1: Észak-Buda
- 2: Kelenföld
- 3: Észak-Pest
- 4: Újpalota
- 5: Fűredi
- 6: Kispest
- 7: Csepel
- 8: Rákoskeresztúr
- 9: Rózsakert
öt db tömbkazanház

1. ábra. FŐTÁV távhőrendszerei

A FŐTÁV - közszolgáltatói feladatából adódó - gondos karbantartásának köszönhetően alapvetően valamennyi szivattyú a fűtőművek építése óta, mintegy 30-40 éve volt üzemben és hasonló karbantartás mellett még hosszú évekig maradhattak volna üzemben. Azonban a beépítés óta eltelt időszakban jelentősen megváltoztak az üzemi viszonyok. A kezdeti felhasználószám növekedés után az 1990-es években sokáig stagnáló hőigények a távhő átalánydíj megszűnésével és az energia drágulásával lecsökkentek, majd a Panelprogram támogatásával elvégzett utólagos hővédelem javítások, nyílászáró cserék és/vagy épület hőszigetelések következményeként, valamint az ÖKO Plusz program fűtőkorszerűsítéseiből és az energiatakarékosságot előtérbe helyező fogyasztói szokásokból eredően napjainkban folyamatosan csökken.

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

Ezek alapján egyre inkább egyértelművé vált a FŐTÁV számára, hogy a régi szivattyúk viszonylag alacsony karbantartási költsége

¹ A cikk a Virtuális Erőmű Program megbízásából készült.

mellett a szivattyúk jelentős villamosenergia-felhasználása hosszú távon sem az üzemeltetési költségek, sem az energiahatékonyság, sem pedig a környezeti hatások szempontjából nem kifizetődő. Ezért megvizsgálta a tényleges és jövőben várható keringetési igényeket és a meglévő szivattyúk új szivattyúkkal történő cseréjéből eredő előnyöket. A vizsgálat során megállapítást nyert, hogy a keringtető szivattyúk távhőrendszerekhez történő jobb illesztésével és azzal együtt cseréjükkel a költségmegtakarítás mellett számottevő villamosenergia-megtakarítás érhető el. Ezért a keringtető szivattyúk fokozatos korszerűsítéséről és az azzal együtt járó cseréjéről született döntés.

A fejlesztés ismertetése

A FŐTÁV a döntés alapján 2010-ben kezdte meg az elavult fűtőművi keringtető szivattyúinak korszerűsítését, elsőként a Füredi úti fűtőműben, amely az 1. képen látható.



1. kép. FŐTÁV Füredi úti Fűtőmű

Füredi úti Fűtőmű keringtető szivattyú csere

- A fűtőműben először a *kis teljesítményű keringtető szivattyú* került cserére 2010-ben. Erre azért volt szükség, mert a régi szivattyúhoz nem tartozott fordulatszám szabályozás, így a gyakorlatban nyáron is a nagyteljesítményű gép üzemelt jelentős többlet energiafelhasználással, amely még így is gazdaságosabb volt a kisteljesítményű szivattyú használatánál. Az új szivattyú már frekvenciaváltós fordulatszám szabályozással épült be, jelentős energetikai megtakarítást eredményezve.
- Ezután következtek a *kazánok visszakeverő szivattyúinak cseréi 2011-ben*, amelyekre szintén azért volt szükség, mert a régi fordulat szám szabályozással nem rendelkeztek, így folyamatos fojtással működtek. Az új beruházással a szivattyúkkal együtt frekvenciaváltós fordulatszám szabályozás került kiépítésre mindhárom kazán visszakeverő szivattyújára.
- Végezetül 2012-ben a *nagy teljesítményű keringtető szivattyú* cseréjére is sor került, amelynek indoka elsősorban a jelentősen megnövekedett karbantartási költség másodsorban pedig az energetikai megtakarítás volt. Ennél a szivattyúnál a fordulatszám szabályozás a régi berendezésnél is megoldott volt. A régi típusú szivattyú látható a 2. képen.



2. kép. Füredi Fűtőmű régi keringtető szivattyú

A Füredi Fűtőmű szivattyúcsereivel elért eredmények ismertetése

A szivattyúcsereikkel elért megtakarítást a cserek 2010. évi megkezdése előtti 3 év (2007-2009) éves villamosenergia-fogyasztásainak átlagához, mint bázishoz viszonyítottuk, amelynek alapjául a telephelyi villamos mérő leolvasásai szolgáltak. A hosszú időtáv miatt a telephelyi és a fogyasztói igények csökkenésével korrigáltuk a bázist. A fogyasztói igények 2013. évi bázishoz viszonyított 15,8%-os csökkenését csak a már csere előtt is fordulatszám szabályozós nagyteljesítményű szivattyúra vettük figyelembe a 2. táblázatban a régi szivattyúra számított villamos felhasználásra vetítve, amely értékkel a bázist csökkentettük. A Füredi Fűtőmű fogyasztása nem teljes egészében adódik a keringtetésből, azonban a vizsgált időszakban a szivattyúcsereken kívül, nem történtek olyan fejlesztések, amelyek a villamosenergia-felhasználást érdemben befolyásolták volna. Így a szivattyúzason kívül eső villamos fogyasztás csökkenésére 3%-os mérséklődés került beszámításra, oly módon, hogy a bázisból kivonásra került a 2. táblázat régi szivattyúra számított érték és az került csökkentésre 3%-kal. Az előbbieket szerint csökkentett bázisidőszaki villamosenergia-felhasználás és a Fűtőmű 2013. évi villamosenergia-fogyasztásának a különbsége közvetve mutatja a szivattyúcsereiből adódó villamosenergia-megtakarítást, amelyeket az 1. táblázatban foglaltunk össze.

1. táblázat. Füredi Fűtőmű szivattyúcsereiből származó megtakarítás

Füredi Fűtőmű szivattyú cserék	Csere előtti korrigált bázis (2007-09)	Igénycsökkenés miatti bázis korrekció MWh	Szivattyúzástól független fogyasztás csökkenés MWh	Csere utáni időszak (2013)	Cseréből származó megtakarítás igény-csökkenéssel
Fűtőművi villamosenergia-felhasználás (MWh)	1689,59	133,66	6,72	1440,35	108,86

A szivattyúk éves üzemi tartamdiagramja alapján a régi és az új szivattyú jellegzőbőjének jellemző munkapontjaira számítással is meghatározásra került a villamosenergia-felhasználás. A számítások eredményét a 2. táblázat mutatja.

2. táblázat. Füredi Fűtőmű szivattyú paraméterei

Funkció →		Nagy teljesítményű szivattyú	Kis teljesítményű szivattyú	Visszakeverő szivattyú
Üzemidő [h]		3 206	5 141	7 180
Régi szivattyú	Típus	Ganz DfAN 400	Ganz DfAN 350	Digép SFF 200/150
	Q (m3/h)	2 160	1 700	220/308
	H (m)	70	70	20
	P (kW)	450	380	30
	Átl telj. (kW)	264	90	22
	átl. η (%)	67,90%	51,18%	helyi mérés
	Villamos fogy. [kWh]	846 000	464 500	155 000
Új szivattyú	Típus	KSB OMEGA 350-510	KSB OMEGA 200-420	Grundfos TP 150-320/4
	Q (m3/h)	1 800	500	295
	H (m)	70	58	26
	P (kW)	450	160	30
	Átl telj. (kW)	248	65	12
	átl. η (%)	73,35%	71,08%	helyi mérés
	Villamos fogy. [kWh]	794 740	334 500	85 000

A visszakeverő szivattyúk esetében a régi és új szivattyúknál a villamos teljesítmény helyi mérés alapján került felmérésre, amelyből az energia-megtakarítás kiszámításra került. A számítási eredményekből látszik, hogy a szivattyúk üzemviteli tartamdiagramja alapján számított energia-megtakarítás közel azonos a Fűtőmű villamos mérőjén mért fogyasztások bázisidőszakhoz viszonyított változásával, így a villamosenergia-fogyasztás változása alkalmas a szivattyúcserekből származó megtakarítás meghatározására.

A Füredi Fűtőmű szivattyúcsere előtti 3 év átlagos villamosenergia-fogyasztásának igénycsökkenéssel korrigált értéke 1549,12 MWh/év volt. A szivattyúcsere végrehajtása után az éves villamosenergia-felhasználás 1440,35 MWh/év-re csökkent.

Ez alapján a fejlesztés megvalósítása után jelentkező villamosenergia-megtakarítás a 15,8%-os fogyasztói igénycsökkenéssel korrigálva 108,86 MWh-ra adódott.

Amellett, hogy az éves üzemidőre vetítve mindhárom funkciót ellátó szivattyú esetén tapasztalható teljesítménycsökkenés, a névleges teljesítmény csak a kisteljesítményű keringtetőszivattyú esetén volt 220 kW mértékű csökkenés 380 kW-ról 160 kW-ra.

A projekt hozzájárulása a Virtuális Erőmű programhoz.

A fejlesztés eredményeként a 220 kW mértékű névleges villamos teljesítménycsökkenés mellett 108,86 MWh villamosenergia-megtakarítást is sikerült elérni. A VEP szempontjából elfogadható villamos teljesítménycsökkenés:

$$P_{VEP} = P_{\text{bázis}} - P_{\text{fejlesztés}} = 380 \text{ kW} - 160 \text{ kW} = 220 \text{ kW}$$

ahol:

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

$P_{\text{bázis}}$ – a fejlesztés előtti névleges teljesítmény,

$P_{\text{fejlesztés}}$ – a fejlesztés utáni névleges teljesítmény,

Összegezve a Füredi Fűtőmű keringtető szivattyúinak cseréje 220 kW értékkel járult hozzá a Virtuális erőmű építéséhez.

Szurdok utcai keringtető szivattyú csere

A Kelenföldi távhőrendszerben a Kelenföldi Erőműhöz képesti jelentős szintbeli eltérése miatt a Gazdagréti lakótelep ellátása egy hőcserélővel hidraulikailag el van választva. Ezért a hidraulikailag elválasztott lakótelep forróvíz-keringtetését a Szurdok utcai szivattyúház végzi. Az itt beépített szivattyúk már rendelkeztek fordulatszám szabályozással, azonban az igényekhez képest túlzott méretük miatt indokolt volt a cseréjük. A szivattyúk cseréje 2012 végén és 2013 elején történt meg.



3. kép. Szurdok utca régi szivattyúi



4. kép. Szurdok utca új szivattyúi

A túlméretezést jól szemlélteti, hogy az eredeti 150 és 250 kW-os szivattyúk helyére jóval kisebb 22 kW teljesítményű gépek kerültek. A régi és az új szivattyúk a 3. és 4. képen láthatók. A cserét megelőzően mindig csak egy szivattyú üzemelt, a cserét követően pedig téli időszakban, amikor nagyobb teljesítményre van szükség, két gép üzemel együtt.

A beépített szivattyúk paramétereit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat. Szurdok utcai szivattyúk paraméterei

Megn.	Régi szivattyúk			Új szivattyúk		
	KS1	KS2	KS3	KS1	KS2	KS3
Gyártó	SVANEHOJ			Grundfos		
Típus	IFV 250-TL	IFV 150-TL		TP150-270/4		
Q (m3/h)	900	450		250		
H (m)	65	50		20,7		
P (kW)	250	120		22		

A Szurdok utcai szivattyúcserevel elért eredmények ismertetése

A szivattyúcserevel elért megtakarítás a beépítés előtti 3 év (2010-2012) éves villamosenergia-fogyasztásainak átlagához, mint bázishoz került viszonyításra. A bázis évek fogyasztási adatait a villamos mérők leolvasásai alapján határoztuk meg. A szivattyúház majdnem teljes fogyasztása a keringetésből adódik, azonban a rendszer önfogyasztásának figyelembe vételére 1% levonásra került. Ezt követően a fogyasztói igények 2013. évi bázishoz viszonyított 5,4%-os csökkenésével további csökkentésre került a bázis. A szivattyúcsere után 2013. évi fogyasztás szintén a villamos fogyasztásmérő leolvasásaiból került meghatározásra. A korszerűsítés utáni villamos önfogyasztás szintén csökkent, ezért itt is 1% önfogyasztást vettünk figyelembe. Minthogy a szivattyúház önfogyasztással csökkentett villamosenergia-fogyasztása teljes mértékben a szivattyúzásból származik a bázishoz képest számított villamosenergia-fogyasztás csökkenés egyben a szivattyúcsereből adódó villamosenergia-megtakarítást is mutatja. A villamosenergia-megtakarítás alakulását a 4. táblázatban foglaltunk össze.

4. táblázat. Szurdok utcai szivattyúcserekből származó megtakarítás

Szurdok utcai szivattyú csere	Csere előtti bázis időszak (2010-12)	Igénycsökkenés miatti bázis korrekció MWh	Önfogyasztás	Csere utáni időszak önfogyasztással csökkentve (2013)	Cseréből származó megtakarítás
Önfogyasztással csökkentett villamosenergia-felhasználás (MWh)	239,39	12,80	2,39	140,31	83,89

A Szurdok utcai szivattyúház fejlesztés előtti 3 évének átlagos villamosenergia-fogyasztása 239,39 MWh/év, amely az önfogyasztással csökkentve 224,2 MWh/év volt. A szivattyúcsere végrehajtása után az éves villamosenergia-felhasználás 141,73 MWh-ra, az önfogyasztást is figyelembe véve 140,31 MWh/év-re csökkent.

Ez alapján a fejlesztés megvalósítása után jelentkező 96,69 MWh villamosenergia-megtakarítás a fogyasztói igénycsökkenéssel korrigálva 83,89 MWh-ra adódott.

A Szurdok utcai szivattyúház feladatából adódóan egész évben üzemel.

A szivattyúház teljesítménye a korábbi 250 kW-ról két új szivattyú együttes üzemét figyelembe véve maximum $2 \times 22 \text{ kW} = 44 \text{ kW}$, amely így 206 kW teljesítménycsökkenést jelent.

A projekt hozzájárulása a Virtuális Erőmű programhoz

A fejlesztés eredményeként a 206 kW mértékű névleges villamost teljesítménycsökkenés mellett 108,86 MWh villamosenergia-megtakarítást is sikerült elérni.

A VEP szempontjából elfogadható villamos teljesítménycsökkenés:

$$P_{VEP} = P_{\text{bázis}} - P_{\text{fejlesztés}} = 250 \text{ kW} - 44 \text{ kW} = 206 \text{ kW}$$

ahol:

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

$P_{\text{bázis}}$ – a fejlesztés előtti névleges teljesítmény,

$P_{\text{fejlesztés}}$ – a fejlesztés utáni névleges teljesítmény,

Összegezve a Szurdok utcai keringtető szivattyú cseréje 206 kW értékkel járult hozzá a Virtuális erőmű építéséhez.

46. Nemzetközi Gázkonferencia és Szakkiállítás

2014. november 6–7. Siófok, Hotel Azúr****

A Nemzetközi Gázkonferencia évtizedek óta nagy sikernek örvend a hazai földgázipari szereplők körében. Az évente megrendezett eseményen a gázipar meghatározó személyeinek előadásai révén a résztvevőknek lehetősége nyílik szakmai eszmecsere folytatni a gázpiac aktuális helyzetéről, meghallgatni a legújabb trendeket és közösen értelmezni a folyamatban lévő változásokat.

A hazai gázszakma legfontosabb és egyben legrangosabb rendezvénye kiváló lehetőséget nyújt az elmúlt időszak eseményeinek megvitatására. Célunk, hogy megosszuk egymással a nemzetközi és hazai piaci változások tanulságait, felvázoljuk és értelmezzük az ellátásbiztonság érdekében tett intézkedéseket és a jövőbeli lehetőségeket, ezzel is elősegítve a hazai földgázpiac sikeres működését. A rendezvény keretein belül lehetőség kínálkozik a gázfelhasználás műszaki-biztonsági kérdésköreinek megvitatására is.

Bízunk abban, hogy részvételével Ön is hozzájárul e konferencia sikerességéhez. Biztosra vesszük, hogy jó alkalomnak találja majd e rendezvényt az informálódásra, a tapasztalat- és véleménycserére, valamint a kapcsolatainak további építésére a mai dinamikus változó gázpiacon.

A konferenciának helyet adó Hotel Azúr**** a Balaton régió legnagyobb, egész évben üzemelő, komplex szolgáltatásokat nyújtó wellness és konferencia szállodája. A mediterrán stílusú szálloda Siófok szívében, közvetlenül a Balaton partján, egy 6 hektáros ősparkban fekszik, saját homokos vízparttal rendelkezik. A Balaton Közép-Európa legnagyobb édesvízi tava, minden évszakban más és más arcával nyugtázza le az idelátogatót. A szálloda a szakmai programok mellett igazi kényeztetésben részesíti a konferencia résztvevőit.

További információ és jelentkezés: www.gazkonferencia.eu

Technikai szervező: MONTAN PRESS Kft., www.montanpress.hu

Éghető gázkeverék tüzeléstechnikai jellemzőinek számítása

Kis László

PhD hallgató, kisl@uni-miskolc.hu

Jelen, soron következő cikk célja a fontosabb tüzeléstechnikai paraméterek meghatározása adott összetételű gázkeverék esetén, gáztechnikai normálállapotra vonatkoztatva. Ezek a jellemzők nem mások, mint a keverék felső hőértéke (égéshője), alsó hőértéke (fűtőértéke), relatív sűrűsége, alsó- és felső Wobbe-száma, valamint a gyulladási koncentrációhatárai.

A vizsgált gázkeverék összetételét és a komponensek releváns tulajdonságait az alábbi táblázat mutatja:

Komponens	Moláris tömeg M_i kg/kmol	Felső hőérték ⁽¹⁾ H_i MJ/m ³	Alsó hőérték ⁽¹⁾ H_a MJ/m ³	Alsó gyulladási koncentráció levegőben ⁽²⁾ Z_a m ³ /m ³	Felső gyulladási koncentráció levegőben ⁽²⁾ Z_i m ³ /m ³	Térfogat-százalék r_i [%]
Metán	16,043	37,746	34,014	0,0436	0,1553	75,0
Etán	30,069	66,645	61,003	0,0282	0,1534	5,0
Propán	44,096	95,964	88,355	0,0205	0,1138	3,0
Nitrogén	28,013			-	-	3,0
Szén-dioxid	44,010			-	-	14,0

(1) 15 °C, 1013,25 mbar-ra vonatkoztatva
(2) 20 °C, 1013,25 mbar-ra vonatkoztatva

A keverék alsó- és felső hőértéke a komponensek hőértékének és térfogatszázalékának ismeretében additív módon határozható meg. Mindkét tulajdonság a gázkeverék tökéletes elégetése során felszabaduló fajlagos energiámnnyiség, a különbség az, hogy a felső hőérték esetén az elégetés után az égéstermékben megjelenő vizgőzt cseppfolyós halmazállapotba hozzuk, azaz lekondenzáltatjuk. Az alsó hőérték esetén ez a többletenergia nem kerül kinyerésre. A nem éghető (inert) komponenseknek értelemszerűen nincs sem alsó, sem felső hőértéke, így a hőérték-számítás során csak az éghető komponenseket kell figyelembe venni.

A keverék felső hőértéke:

$$H_f = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot H_{fi} = 0,75 \cdot 37,746 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} + 0,05 \cdot 66,645 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} + 0,03 \cdot 95,964 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 34,521 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

A keverék alsó hőértéke:

$$H_a = \sum_{i=1}^3 r_i \cdot H_{ai} = 0,75 \cdot 34,014 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} + 0,05 \cdot 61,003 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} + 0,03 \cdot 88,355 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 31,211 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

A Wobbe-szám nem más, mint a gázkeverék fúvókán való átáramlásából származtatott mutatószám, amely a már korábban meghatározott hőértékek és a keverék relatív sűrűségének ismeretében számítható. Az éghető gázok cserélhetőségének egyik szükséges, de nem elégséges feltétele a két gáz Wobbe-számának egyezősége. A gázkeverék relatív sűrűsége az ugyanazon nyomás- és hőmérsékletviszonyon vett gázkeverék-, valamint a száraz levegő

sűrűségének hányadosa. Amennyiben a relatív sűrűség kisebb 1-nél, a gázkeverék könnyebb a levegőnél. Ennek ismerete például a gázérzékelők elhelyezése szempontjából kulcsfontosságú. A gázkeverék sűrűsége a cikksorozat első cikkében leírt módon határozható meg. A száraz levegő sűrűsége gáztechnikai normálállapotban 1,2254 kg/m³.

A gázkeverék relatív sűrűsége:

$$\rho_{rel} = \frac{\rho_{kevn}}{\rho_{levn}} = \frac{0,925 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1,2254 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,755$$

Az gázkeverék felső- és alsó Wobbe-számait:

$$W_{of} = \frac{H_f}{\sqrt{\rho_{rel}}} = \frac{34,521 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}}{\sqrt{0,755}} = 39,729 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

$$W_{oa} = \frac{H_a}{\sqrt{\rho_{rel}}} = \frac{31,211 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}}{\sqrt{0,755}} = 35,920 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$$

A gázkeverékek meggyújtása kizárólag a gyulladási koncentrációhatárain belül lehetséges. A gyulladási koncentrációhatárok kiszámítása többlépcsős folyamat. Elsőként az éghető komponensek egymáshoz viszonyított térfogatarányát kell meghatározni. Ez úgy tehető meg, hogy az inert alkotók nélküli térfogatot vesszük 100%-nak. A képletben szereplő B tag a gázkeverék inert tartalmának térfogattörtje (a térfogatszázalék század része), értéke jelen esetben 0,17.

$$r_{ei} = \frac{r_i}{1 - B}$$

Komponens	Térfogat-százalék r_i [%]	Az éghető részre vonatkoztatott térfogatszázalék r_{ei} [%]
Metán	75,0	90,4
Etán	5,0	6,0
Propán	3,0	3,6
Nitrogén	3,0	-
Szén-dioxid	14,0	-

Felhasználva a meghatározott réi értékeket az éghető komponensekből képzett gyulladási koncentrációhatárok számíthatók a Le Chatelier-féle képlettel:

$$Z_{ékev} = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 \frac{r_{ei}}{Z_i}}$$

A gázkeverék kizárólag éghető komponenseinek felső- és alsó gyulladási koncentrációhatára:

$$Z_{ékev} = \frac{1}{\frac{0,904}{0,1553} + \frac{0,06}{0,1534} + \frac{0,036}{0,1138}} = 0,1532 = 15,32\%$$

$$Z_{\text{ékeva}} = \frac{1}{\frac{0,904}{0,0436} + \frac{0,06}{0,0282} + \frac{0,036}{0,0205}} = 0,0406 = 4,06\%$$

Az inert komponensek jelentősen csak a felső gyulladási koncentrációhatárt befolyásolják. Mennyiségük növekedése általában bővíti a gyulladási tartományt. Figyelembevételük a következő összefüggéssel lehetséges:

$$Z_{\text{kevf}} = Z_{\text{ékev}} \frac{1 + \frac{B}{1-B}}{1 + Z_{\text{ékev}} \frac{B}{1-B}}$$

A gázkeverék felső- és alsó gyulladási koncentrációhatára:

$$Z_{\text{kevf}} = 0,1532 \cdot \frac{1 + \frac{0,17}{1-0,17}}{1 + 0,1532 \cdot \frac{0,17}{1-0,17}} = 0,1789 = 17,89\%$$

$$Z_{\text{keva}} = 0,0406 \cdot \frac{1 + \frac{0,17}{1-0,17}}{1 + 0,0406 \cdot \frac{0,17}{1-0,17}} = 0,0485 = 4,85\%$$

Jól látható, hogy az inert komponensek megnövelték a gyulladási koncentrációhatárokat és kiszélesítették a gyulladási tartományt. A cikksorozat a Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ keretében készült.

Könyvismertető

Véghely Tamás: Napelemes rendszerek villamos berendezései

Megjelent a „napkor-szaki” sorozat újabb könyve. A szerző, *Véghely Tamás*, a sorozatot azzal a szándékkal indította útjára, hogy segítségével a megújuló energia ipar mielőbb átalakulhasson valódi szakértelemmel bíró, tudás alapú iparaggá, a mai – gyakran „hiedelmek alapján” működő gyakorlat helyett. 2017-re mintegy 150 GW telepített kapacitás működik világszerte.

A napenergiából előállított villamos áram egyre népszerűbb a világban, mert építetője, használója számára jelentős költségcsökkentést jelenthet, sőt akár a számla teljes nullázását is elérhetjük vele. A nagyobb felhasználók, önkormányzatok, közösségek akár többlet energiát is termelhetnek, melyet értékesíthetnek. Ám ez csak akkor valósulhat meg, ha rendszert jól terveztek meg és jól is építették meg.

Magyar szakirodalomban nincsen olyan könyv, szakcikk, mely egy helyen leírja, hogyan lehet jó napelemes rendszert építeni.

A napelemes rendszerek rohamosan növekvő alkalmazási területe a hálózatra kötött rendszerek területe. Az utóbbi 3 évben világszerte, az újonnan épített rendszerek 85%-a hálózatra kötött rendszer. Ám a külföldi tapasztalatok vést jóslóan azt is jelzik, hogy *az alkalmazások növekedésével a problémák is növekednek*, sőt korábban előre nem sejthető problémák is megjelennek.

A most megjelent második kötet címe *„Napelemes rendszerek villamos berendezései”*. Különlegessége, hogy több, a napenergia ipar különféle területein tevékenykedő, többéves tapasztalattal rendelkező szakember véleményére is támaszkodik, így áramszolgáltatók, inverter gyártók, rendszerirányítók, eszközvizsgáló hatóságok, rendszertelepítők, akkumulátorgyártók, villám- és túlfeszültség védelmi szakértők stb. is megosztják szaktudásukat az olvasókkal, ami tovább növelheti a kiadvány szakmai hitelességét. Ezek a könnyebb eligazodás érdekében a könyvben tematikusan összegyűjtve, rendszerezve szerepelnek.

Ez az újfajta megközelítés segítheti az ágazat alapvető problémáinak megoldását, és jelentősen csökkentheti a szakmán belüli vitás kérdések számát. Közelítheti a beruházói-kivitelezői és a befogadói (áramszolgáltatói, elosztói) oldalt, megteremtve az egységes értelmezéseket, az egységes követelményrendszert, és ily módon akár *utat nyithat az egységes magyar szabványelőírások létrejöttéhez*.



A könyv főbb fejezetei:

- A rendszerek ismertetése
- Az inverter
- Inverterek vizsgálati tapasztalatai
- Háztartási méretű kiserőmű csatlakoztatása
- Az akkumulátor és az akkumulátortöltő
- A rendszerelemek kiválasztása
- Rendszertervezés
- Napelemes rendszerek
- Szabványok felsorolása

A könyv – jellegét tekintve összefoglaló, de ugyanakkor – az alkalmazáshoz szükségesnek kellő mélységben tekinti át a legfontosabb rendszer elemeket és azok kapcsolatát, különös tekintettel a hozamoptimalizálásra. A magyar megújuló energia szakirodalomban különlegesen számít és elsőként mutatja be a hálózati egyetemes szolgáltatók – végre egységes álláspontját – talán kissé a könyv érdeme is, hogy végre megszületett az egységes álláspont.

A szerző kifejezett szándéka volt, hogy összefoglalja a fogyasztó/beruházó elvárásait, a mérő vizsgáló intézmények álláspontját, az áramszolgáltatók elvárásait, és megfogalmazzon minimális elvárásokat a kivitelezések folyamatában. Világosan bemutatja a hálózatra csatlakozás eszközeit, azok tulajdonságát, és részletesen foglalkozik hálózatra csatlakozás eljárási rendjével. A könyv elolvasása után egyszerűvé válik az, ami most sokak számára bonyolultnak tűnik – a csatlakozási eljárás.

Külön fejezetben nevezi meg az egyes eszközök, eljárások, technológiák jelenleg érvényes hazai és nemzetközi szabványait. Részletesen foglalkozik az akkumulátorokkal és töltőkkel, mely ismeretek egyéb villamos területen is használhatóak (autóvillamosság, akkumulátoros közlekedési és szállító eszközök).

Ezért ez a könyv hiánypótló, mert a hazai szakirodalomban elsőként, összefoglaló műként tartalmazza mindazon szükséges alaptudást, amellyel egy kellő hozamot produkáló napelem rendszer alakítható ki.

A figyelmes olvasó azt is megtudhatja, hogy miképpen lehet ugyanazon alkatrészekből olyan rendszert összeállítani mely akár 40%-kal több energiát termel (vagy kevesebbet!).

További információk: tjv@gaiasolar.com

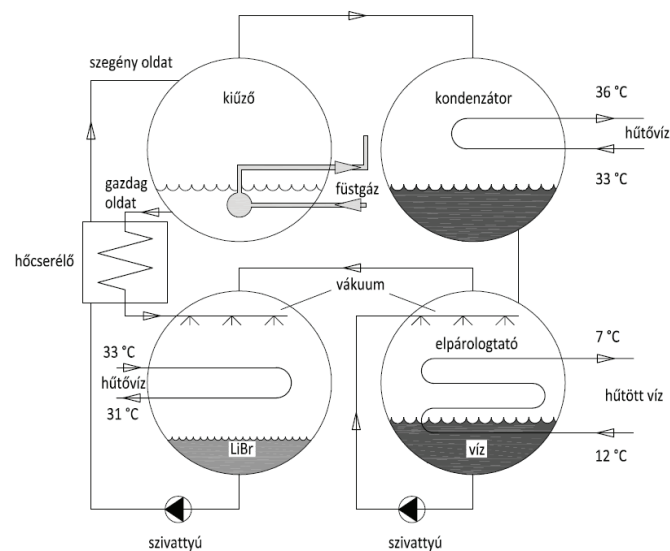
Közép-Európa első trigenerációs rendszere direkt füstgázos abszorpciós folyadékűtővel Ostravában

Varga Péter

okl. gépészmérnök, pvarga@regale.hu

Az abszorpciós hűtés már évtizedek óta ismert technológia, leginkább ipari létesítmények tekintetében számottevő az alkalmazása. A XX. század második felében inkább a kompresszoros hűtők terjedtek el, elsősorban a berendezések kedvező ára és a villamos energia alacsony árszintje miatt nem érte meg a befektetést a nagyobb költségekkel járó abszorpciós technika. Sajnos csak sokkal később ismertük fel, hogy a villamos energiával működtetett hűtőrendszerek kétszeresen is környezetszennyezőek.

Először is az elektromos áram előállításakor a hőerőművek által kibocsátott füstgáz és egyéb anyagok terhelik a környezetet, másodsor pedig a kompresszoros hűtőgépek munkaközegeként alkalmazott anyagokról kiderült, roppant károsak az ózonpajzsra.



1. ábra. Az abszorpciós folyadékűtők működési elve

A folyadékűtő berendezésekben lejátszódó körfolyamatok lehetnek kompresszoros és abszorpciós elven működőek.

Az abszorpciós gépeknél is megtalálhatók a kompresszoros rendszerek fő szerkezeti részei, mint az elpárologtató, a kondenzátor és az expanziós szelep, illetve ezek működési elve is hasonló.

Az abszorpciós berendezés hűtő körfolyamata során a munkaközeg hasonlóan a kompresszoros folyadékűtő berendezéshez, több nyomásszinten van jelen (1. ábra). A nagynyomású, folyékony halmazállapotú hűtőközeg a kondenzátorból az expanziós szelepen keresztül az elpárologtatóba jut, miközben nyomása és hőmérséklete csökken és a rendszer hűtésére használt közvetítő közegből hőt von el. Az elpárologtatóból a hűtőközeg az abszorberbe, a rendszer legkisebb nyomású részébe jut. Az abszorberben a hűtőközeg kondenzálódik, és egyben itt játszódik le az abszorbeálás is az oldószerrel. A hűtőközegben gazdag oldatot az úgynevezett szegény oldat szivattyú nyomja a rendszer nagynyomású részébe, a

kiűzőbe. A kiűző hőcserélő egységébe betáplált hőenergia (amelynek forrása sokféle lehet: melegvíz, gőz, füstgáz, direkt gázégővel felszerelt berendezés esetén földgáz vagy egyéb gázok, pl. biogáz) hatására a hűtőközeg a szegény oldatból gőz formájában távozik és visszajut a kondenzátorba. A kiűzőben visszamaradt, hűtőközegben szegény, oldószerben gazdag oldat az abszorberbe kerül, és a körfolyamat kezdődik előlről.

Az abszorpciós folyadékűtőben a hűtőközeget szivattyúval szállítjuk a rendszer kisnyomású oldaláról a nagynyomású oldalra, míg a kompresszoros folyadékűtőnél ugyanerre a feladatra a kompresszor szolgál. Röviden összefoglalva az összehasonlítást: a kompresszoros folyadékűtőkben található kompresszor és az abszorpciós folyadékűtőkben található abszorber, az oldatszivattyú és a kiűző, ugyanazt a feladatot látják el.

Alkalmazási lehetőségek

A kombinált, azaz egyidejű energiatermelés (kogeneráció) előnye, hogy kevesebb primer energia felhasználással járhat, mint a külön-külön hő- és villamosenergia-termelés, ezt fejezi ki a kogeneráció magas összhatásfoka. Ahhoz, hogy ez a hatásfok megmaradjon az év folyamán, minél hosszabb időszakban szükség van a hőenergia állandó hasznosítására. Ez különféle hőenergiát felhasználó technológiák esetében nem okoz gondot, inkább az épületek hűtés-fűtése a kritikusabb, annak szezonális jellegű hőigénye miatt. *A hőenergiát abszorpciós folyadékűtők segítségével ma már könnyen transzformálhatjuk hűtőenergiává.*

Az abszorpciós technológia legfőbb előnyei

- a balneológia és az úszómedencékben alkalmazható termálvíz kötelező lehűtéséből hűtőenergiát nyerünk ki, melyet a létesítmény klímatiszálásánál tudunk felhasználni,
- nincsenek magas nyomás alatt lévő alkatrészek,
- alacsony villamosenergia-fogyasztás, nincs szükség villamos hálózatfejlesztésre,
- alacsony zajszint és vibráció,
- nyári villamos energia csúcs „levágása”,
- alacsony üzemeltetési költség hulladékhő esetén,
- állami támogatás (külföldön),
- környezetbarát.

Megtérülés

A berendezéseket már sorozatgyártás keretein belül készítik, ezáltal az áraik is egyre elfogadhatóbbak. A gazdaságos üzemeltetésnek köszönhetően a többlet megtérülési idejük a kisebb teljesítmény tartományban a kompresszoros folyadékűtővel összehasonlítva kb. 2-3 évre tehető, míg a nagyobb teljesítmény értékeknél az abszorpciós berendezés beruházási költsége megközelíti, sőt egyes esetekben a kompresszoros folyadékűtő áránál kedvezőbb is lehet, ezért a nagyteljesítményű gépeknél nem is beszélhetünk minden esetben többlet megtérülési időről a kompresszoros gépekkel szemben.



Forgalmazott abszorpciós folyadékűtők

A World Energy mérnökei a minél hatékonyabb ipari hőviszanyerés területén végzik kutató és fejlesztő munkájukat. A 2004-ben alapított koreai anyagég legfőbb törekvése a környezetbarát hűtési technológiák terjesztése világszerte és a hulladék hő leghatékonyabb felhasználása hűtési feladatokra.

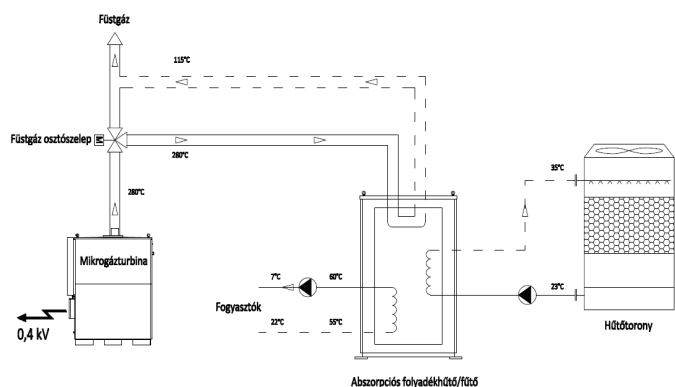
Trigeneráció Ostrava

A prágai ČKD ENERGY a.s. és a budapesti REGALE Energy Zrt. együttműködésben hoztak létre egy olyan trigenerációs rendszert, melynek fő egységei egy 200 kW-os Capstone mikro-gázturbina, egy World Energy CHPS direkt füstgázos abszorpciós folyadékűtő és a megfelelő hűtőtornyos valamint a távfelügyeleti rendszer.

A rendszer műszaki adatai:

- Villamos teljesítmény 200 kW_{el}, 400 V, 50 Hz
- Hűtési teljesítmény 265 kW, 7/12°C
- Fűtési teljesítmény 262 kW, 60/55°C
- Maximális gázfogyasztás (földgáz 36 MJ/m³), 67 m³/h

A mikro-gázturbina és hűtőtornyos kültéri egységeként, míg az abszorpciós folyadékűtő/fűtő egy külön konténerbe került elhelyezésre. A rendszer elvi kapcsolását az 2. ábrán mutatjuk be. A helyszínen készített képeken látható a rendszer komponensek elhelyezése.

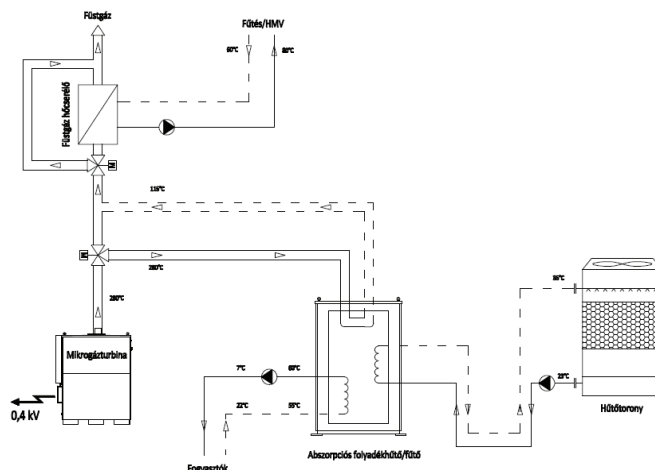


2. ábra. Trigenerációs rendszer elvi kapcsolása

A World Energy direkt füstgázzal működő berendezései jelentősen magasabb COP értékkel működnek, mint a meleg víz vagy gőzfűtésű berendezések. A COP ebben az esetben eléri az 1,35-1,4 értéket is a mikro-gázturbinából kilépő füstgáz hőmérsékletének függvényében.

A szóban forgó létesítmény egy autóiipari gépgyártó vállalat telephelye, ahol az előállított hűtési energiát technológiai és a nyári időszakban komfort célokra használják fel. A rendszer fűtési üzemmódját csak a gyár leállásakor, a gyártócsarnok temperálására használják fel.

A rendszert 2013 májusában helyezték üzembe, és az átadás óta a tulajdonos maximális megelégedettségére működik. Idén májusban tartottuk meg az első éves tervezett karbantartást, hogy a további folyamatos és zökkenőmentes üzemvitelt biztosítsuk. Abban az esetben, ha a hűtési üzemmóddal párhuzamosan fűtésre is szükség van, az abszorpciós folyadékűtőből kilépő füstgázban lévő hőenergiát tudjuk hasznosítani fűtésre egy hőcserélő beépítésével, ahogy ezt a 3. ábra is szemlélteti.



3. ábra. Fűtési üzemmód kiegészítő füstgáz hőcserélővel

Zárószó

Hasonló rendszereket leginkább az Amerikai Egyesült Államokban találhatunk, szerverparkokban és adatközpontokban, ahol jól ismert tény, hogy jelentős villamosenergia-ellátásra és állandó hűtésre van igény. A villamosenergia-ellátásnak minél biztonságosabbnak kell lennie az év 8760 óráján keresztül.

Mivel a gázturbinák üzemeltethetők az év 99,9%-ban, ezért ez a tényező nagyon jelentős a villamos energia forrásának kiválasztásánál. A moduláris egységeknél a karbantartás alkalmával nem áll le a teljes berendezés, csak az a modul, amelyen éppen dolgoznak. Ezért a kapacitás csak ezen modul kapacitásával csökken egy pár órára, hiszen csak az elektronikus részben történik a karbantartás.

A legfontosabb, hogy nincs szükség olajcserére, mivel a turbinák légszapágyakkal működnek. A hulladék hő hasznosítása közvetlenül történik, azaz a turbinából kilépő füstgáz direkt az abszorpciós folyadékűtő/fűtő kiűzőjébe áramlik. Az üzemmód lehet hűtés vagy fűtés.

A magas füstgáz hőmérsékletnek köszönhetően a berendezés két hatásos (2 kiűző), ezáltal sokkal jobb COP = 1,3-1,4 értéket lehet elérni.

Amennyiben egyidejűleg van igény a hűtésre és a fűtésre, a 3. ábrán bemutatott megoldást lehet alkalmazni, azaz az abszorpciós folyadékűtő/fűtő után még van lehetőség egy hőcserélő beépítésére, amely biztosítani tud bizonyos fűtési energiát.

A rendszer fő elemei a turbinák és a folyadékűtők a felhasználó létesítmény központi felügyeletére vannak kötve, ezenkívül Ostravában, a rendszert kiépítő és üzemeltető cég (ČKD Energy, Prága) prágai számítógépéről is ellenőrizhetők.



Hozzászólás Orbán Tibor, Gurka Szilárd, László Tamás: Füstgáz hőhasznosító létesítése a Rákoskeresztúri Fűtőműben c. cikkéhez

(Energiagazdálkodás, 2014/3. pp. 24–25.)

A hivatkozott cikket elolvasva bizonytalanságot érzek a megtakarítás számított adataiban. Nyilván a részleteket nem ismerve csak az 1. ábra sémája alapján szeretnék néhány gondolatot hozzáfűzni.

Elsőként feltételeztem, hogy a hőfogyasztás változatlan, azaz az előremenő és visszatérő hőmérsékletek és tömegáramok azonosak a fejlesztés előtt és után. Ekkor:

- ha a gázmotoros rendszer igényli a teljes vízmennyiséget, a füstgáz hasznosító nem kap hűtővizet, azaz nem tud üzemelni
- ha a gázmotoros rendszer a kevesebb vízmennyiséget kapja, de azt is csak az eredeti hőmérsékletre tudja felmelegíteni, és a hőhasznosító kilépő vízhőmérséklete is ugyanennyi, akkor megtakarítás (a fűtőműben) nincs, hiszen a kazán változatlan körülmények között dolgozik.
- ha a hőhasznosító magasabb hőmérsékletű vizet állít elő, mint a gázmotoros rendszer és/vagy a gázmotoros rendszerből magasabb hőmérsékleten lép ki a hűtővíz, akkor lehet megtakarítás.

Az utóbbi két eset befolyásolja a gázmotoros rendszer üzemét is, ezért az ott keletkező megtakarítást vagy többletfogyasztást is figyelembe kell venni a virtuális erőmű számításánál.

Megtakarítás érhető el akkor is, ha a fűtőmű növeli a kiadott hő mennyiségét. Akkor viszont a megtakarítás számításához a hőhasznosító nélküli esetet is át kellene számolni a nagyobb kapacitásra (bázis képzés), és úgy elvégezni az összehasonlítást.

Nem vizsgálták az üzemmenet változásának hatásait a gázmotoros rendszerre. Előfordulhat ugyanis, hogy a megtakarítás ott keletkezik, de az is, hogy a kevesebb hűtővíz miatt a szükségűhűtőket kell bekapcsolni.

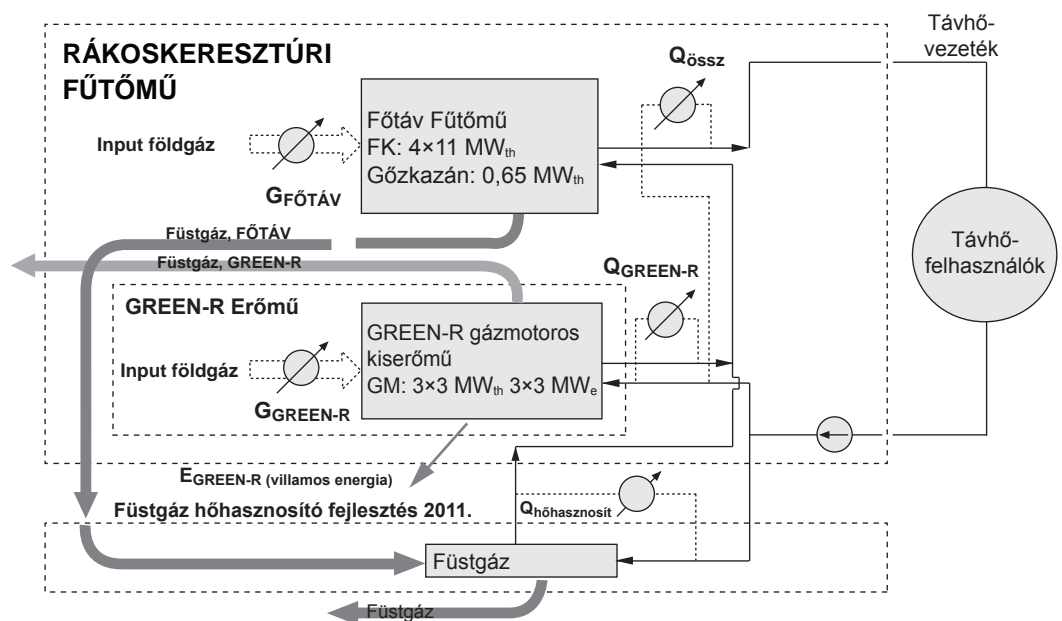
Tudom, a terjedelmi korlátok nem teszik lehetővé a teljes koncepció ismertetését. Szerencsésebbnek tartottam volna, ha a szerzők (meglévő berendezésről van szó) a mérlegszerű mérési eredményeket ismertetik.

Elnézést kérek a szerzőktől, ha valamit rosszul értelmeztem volna és a valóságos rendszer másképp működik. Gondolataimat azért szeretném mégis közölni, hogy rámutassunk a megtakarítások számításának komplexitására, az összetett rendszerekben fellépő kölcsönhatásokra.

*dr. Balikó Sándor
energiagazdálkodási
szakértő*



A FŐTÁV Zrt. rákoskeresztúri fűtőműve

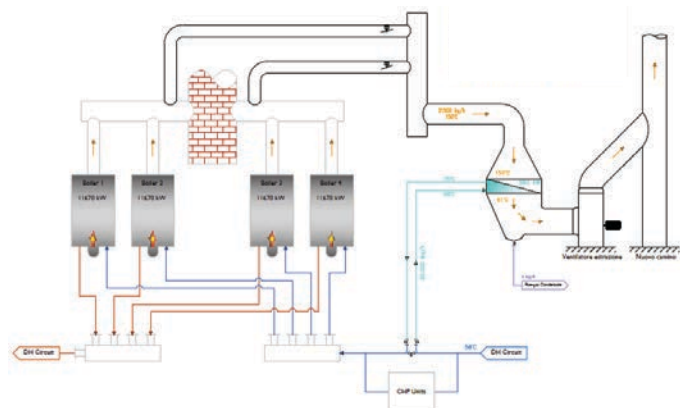


A Rákoskeresztúri Fűtőmű energiaáramlásának egyszerűsített vázlat

Válasz dr. Balikó Sándor energiagazdálkodási szakértő úr „Orbán T.-Gurka Sz.-László T.: Füstgáz hőhasznosító létesítése a Rákoskeresztúri Fűtőműben c. cikkéhez” tett HOZZÁSZÓLÁS-ára

A hőhasznosító kazán (HHK) kizárólag akkor üzemel, amikor a gázmotorok (amelyek egyébként a kazánokkal ellentétben nem a FŐTÁV tulajdonában állnak) nem tudják a kazánok nélkül kielégíteni a hőigényeket, ami gyakorlatilag a teljes fűtési időszakra kiterjed.

A HHK az ábra tanúsága szerint párhuzamos kapcsolásban üzemel a gázmotorokkal, ezért a gázmotorok hőcserélőire belépő víz hőmérsékletét a HHK nem növeli, az ugyanakkora, mint ha a hőhasznosító nem üzemelne.



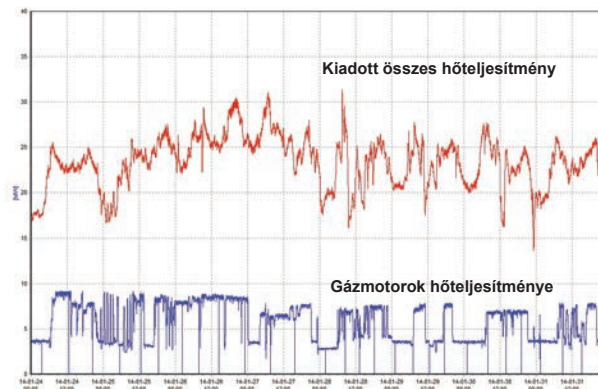
A gázmotorok tehát ugyanolyan mennyiségű és belépő hőmérsékletű vizet kapnak, ugyanannyi hőt termelnek ugyanolyan kilépő hőmérséklettel, mint a HHK belépése előtt, azaz a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés energetikai jellemzői változatlanok. A kazánokba a gázmotoroktól érkező változatlan mennyiségű és hőmérsékletű-, valamint a gázmotorokat megkerülő, a HHK által felmelegített víz keveréke lép be.

A HHK által melegített ág hőmérséklete viszont magasabb lesz, mint a beépítése nélkül lenne, ezért a kazánok akkor is magasabb belépő hőmérsékletű kevert vizet kapnak, ha a hőhasznosító akár csak 1 °C-ot emel a saját részáramán. Mivel az előremenő változatlan, a kazánoknak kisebb hőteljesítményt kell a rendszerbe táplálni, mint a hőhasznosítás nélküli esetben.

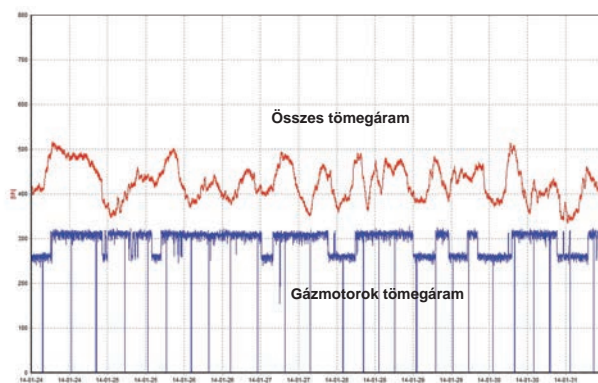
Amennyiben a HHK által felmelegített vízáram a gázmotorok lekötése előtt csatlakozna be a visszatérő ágba, valóban befolyásolná a gázmotorok üzemét, ezért a csatlakozási pont kiválasztásánál ezt a fontos szempontot természetesen figyelembe vettük.

A cikk szerzői

Megjegyzés: az alább található ábrák a 2014. január 24-31. közötti időszakra vonatkozóan a rendszer teljes-, illetve a gázmotorok forróvíz-tömegáram igényének alakulását szemléltetik. Látható, hogy a HHK által igényelt részáram (20-30 t/h) biztonságosan rendelkezésre áll.



Kiadott hőteljesítmény a 2014. január 24-január 31. időszakban



Tömegáramok a 2014. január 24-január 31. időszakban

Viszontválasz

Tisztelt Szerzők!

Köszönöm az észrevételeimre küldött válaszukat, ami egyértelműen bizonyította, hogy én tévedtem, a vázolt megoldás – azaz, hogy a korábban is meglévő, a gázmotoros rendszert elkerülő szakaszba került a hőhasznosító – valóban tüzelőanyag-megtakarítást jelent.

Tévedésem a cikk első hasábjának az alábbi mondatából fakadt: „A füstgázhasznosító megvalósítása előtt a felhasználóktól távhővezetéken visszaérkező lehűlt vizet először a gázmotorok melegítették fel, majd ... a fűtőmű kazánjai melegítették tovább...”

Ebből én arra következtettem, hogy a kazánok pontosan annyi vizet melegítenek fel, amennyit a gázmotorok előmelegítettek.

Tévedésemért szíves elnézésüket kérem.

*Tisztelettel:
Balikó Sándor*

Elhunyt Prof. Dr. Szebényi Imre

Szebényi Imre professzor úr hosszú évekig volt egyesületünk meghatározó, és ugyanakkor áldozatkész és mindig a közösséget szolgáló személyisége. Most, hogy eltávozott közülünk, alkalom nyílik életútja áttekintésére, hogy emlékéket még intenzívebben megőrizhessük.

Pécsett született, és a gimnáziumot is ott végezte, majd az ELTE TTK vegyész hallgatója lett, de két év után a BME vegyészmérnöki karán folytatta tanulmányait, és ott is diplomázott 1952-ben. Abban az évben néhány hónapot az Országos Tervhivatalnál töltött, de ezután visszatért a BME-re, ahol a Kémia Technológiai Tanszék lett egész életére a munkahelye, és egy kicsit a második otthona. Hisz amikor a 'Who is Who Magyarországon' kiadvány számára hobbiáról nyilatkozott, a munkáját jelölte meg.

1967-ben lett a Kémia Technológiai Tanszék vezetője, de már 1964 óta a Vegyészmérnöki Kar dékánhelyetteseként vállalt a mindennapi oktató és kutató munkánál lényegesen többet. Legendás munkabírásával és részletekbe merülni képes odafigyelésével mindkét pozícióban rengeteget tett a műegyetemi képzés fejlesztéséért, a Kar és a Tanszék magas oktatási és kutatási színvonaláért.

Széleskörű tudományos tevékenységet folytatott, aminek eredményeképp 1957-ben a tudományok kandidátusa, majd 1978-ban az MTA kémiai tudományok doktora lett. Főbb kutatási területei az energiatermelés kémiai és technológiai kérdései, a füstgázok kéntelenítése, a vízkémiahoz kapcsolódó technológiai kérdések voltak, de a Tanszéken folyó szinte minden kutatásra odafigyelt. Szakmai tevékenységét gazdag publikációs hagyaték örzi: 7 könyv, 185 publikáció, 27

egyetemi jegyzet, 10 szabadalom szerzője, társszerzője, ill. társhelfalálója volt.

Az ETE-ben vállalt szerepén túl számos hazai és külföldi tudományos, szakmai szervezet, egyesület, bizottság, kuratórium, programtanács, szerkesztőbizottság (közte a Magyar Nagylexikon előkészítésében szerkesztő főmunkatárs), minősítő bizottság elnöke, alelnöke vagy tagja is volt, és e széles reprezentáltság ellenére mindegyik pozíciójában figyelmes és értékes munkát végzett.

Széleskörű tevékenységéből külön kiemelendő, hogy úttörő szerepet vállalt a hazai környezetvédelem nagykorúsításában, meghatározó szerepe volt a posztgraduális környezetvédelmi szakmérnök és a graduális környezetmérnök képzés bevezetésében és magas szintre emelésében, de ugyanakkor abban is, hogy a környezetvédelem ne egy elvont „zöld” mozgalom, hanem a gazdaságot is segítő hasznos tevékenység legyen. (Ehhez kapcsolódóan két személyes emlék: - a 80-as években az Ipari Minisztérium az ún. „G” kormányprogramokon keresztül finanszírozott K+F célokat, ezen belül a G4 program keretében viszonylag jelentős összegeket rendelt környezetvédelmi célokra.



1930-2014

Szebényi professzor úr aktívan részt vett a program irányításában, a pályázatok elbírálásában, a megkötött szerződések ellenőrzésében, és ezáltal a hazai környezetvédelmi ipar fejlődésében; - a kormányprogramon túl, az Ipari Minisztérium által gesztortált „Ipar a környezetvédelemért” alapítvány, amely még a 90-es, sőt, a 2000-es évek elején is aktív volt, több évtizeden keresztül mindig számíthatott a professzor úr önzetlen, el-lenszolgáltató nélküli értékelő

tevékenységére.) Ezen tevékenységét folytatta töretlen lelkesedéssel a 2000-es években a Nemzeti Fejlesztési Hivatal pályázati rendszerében végzett szakértői tevékenységével is.

Az emlékezés koszorúját két korántsem teljes, de impozáns felsorolással zárjuk, amelyek a kitüntetések és díjakon, valamint kiemelt tagságokon keresztül, az általa szerkesztett prioritások mentén tanúsítják Szebényi Imre hatalmas és példamutató életművét:

- Díjak, kitüntetések: Friedrich List Érem (1982, Drezdai Egyetem), Pro Natura (1984), Kiváló Felaláló (1989), Varga József Érem (1994), Környezetért Emlékérem (1995), Magyar Felsőoktatásért Emlékplakett (1996), A Környezet Védelméért Díj (2001), Zielinszki Szilárd Díj (2001), Pázmány Péter Díj (2002), Széchenyi Díj (2002), Kitaibel Pál Emlékérem (2004), A Környezetvédelmi Műszaki Felsőoktatásért (2004), Pro Natura Recreanda kitüntetés és emlékgűrű (2004), Hermann Ottó Emlékérem (2005), Than Károly Emlékérem (2008), végül, de nem utolsó sorban, az ETE-ben végzett kiemelkedő tevékenységét honoráló Szikla Géza Díj (1999) és a Szabó Imre Díj (2005).

- Tagságok, tisztségek: Magyar Környezetvédelmi Egyesület, alelnök, Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület, Környezetvédelmi Szakosztály, elnök, az ETE Tiszteletbeli Tagja, Magyar Kémikusok Egyesülete, Környezetvédelmi Szakosztály, vezetőségi tag, Magyar Mérnöki Kamara, tiszteletbeli tag, MMK Környezetvédelmi Tagozat, tiszteletbeli elnök, MTA Műszaki Kémiai Komplex Bizottság, tag, Magyar Professzorok Világtanácsa, tag, Szent István Tudományos Akadémia, rendes tag.

Tisztelt Professzor Úr, Kedves Imre, emléked megőrizzük!

ETE Elnöksége nevében
Dr. Vámos György
a Környezetvédelmi Szakosztály, elnöke

Napenergia felhasználás vezető országainak sorrendje 2014. június végén a hálózatra kapcsolt PV erőmű kapacitások szerint**

Sorszám		Ország	Erőművek száma	Kapacitás MW _{AC,P}
Világ	EU			
1		Egyesült Államok (USA)	349	6240,2
2		Kína	219	4709,8
3	1	Németország	277	3454,6
4		India	184	1975,1
5	2	Egyesült Királyság (GB)	233	1791,9
6	3	Spanyolország	171	1680,0
7	4	Olaszország	85	898,2
8	5	Franciaország	57	732,2
9		Kanada	56	717,3
10		Thaiföld	62	592,6
11		Dél-Afrika	15	503,0
12	6	Ukrajna	19	490,2
13		Japán	16	308,0
14	7	Románia	17	277,6

Sorszám		Ország	Erőművek száma	Kapacitás MW _{AC,P}
Világ	EU			
15		Chile	7	269,4
16	8	Bulgária	13	225,4
17	9	Cseh Köztársaság	26	216,8
18	10	Görögország	12	117,5
19	11	Portugália	11	110,3
20		Egyesült Arab Emírátsok	3	103,3

** Forrás: wiki-solar.org

A világ 20 vezető fotovoltaiikus napenergia felhasználó országa közül 11 európai ország. Meglepő lehet, hogy az Egyesült Királyság megelőzi Spanyolországot annak kedvezőbb adottságai ellenére. A telepített kapacitások nagyságát elsősorban az egyes országok támogatási politikája és a PV technológia ára befolyásolja. Néhány nagyméretű új installáció könnyen változtat a sorrenden, elsősorban azoknál az országoknál, ahol a beépített kapacitás és az erőművek száma az élenjáróhoz képest jóval kevesebb.

Elhunyt Prof. Dr. Jászay Tamás

2014. október 20-án este, életének 86. évében elhunyt Prof. Dr. Jászay Tamás a megosztott Nobel Béke-díjas tudós társaság (IPCC) tagja, a BME Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék professzor emeritusa, a Műszaki Hőtan és a Hőenergetika előadójaként évtizedeken át munkatársa, majd letéteményese a Helleriskolának. Alapító elnöke a Magyar Energetikai Társaságnak, társelnöke a WEC Magyar Nemzeti Bizottságnak, több nemzetközi testületben viselt fontos tisztségeket és képviselte a magyar energia szakmát.

Gazdag életpályája az Energiagazdálkodási Tanszéken kezdődött 1951-ben. Már 1953-ban részt vett Heller László „Fejezetek a gyakorlati termodinamika tárgyköréből” című jegyzet kidolgozásában. Heller professzor munkatársaként a tanszék legfontosabb alaptárgyainak gyakorlatvezetője, majd évtizedekig előadója, az általa írt jegyzetektől tanultak mérnökgenerációk. Az alapvető témakörök mellett az Ipari energetika, Energiapolitika voltak azok a tantárgyak, melyeket szintén több évtizedig adott elő, professzor emeritusként az Energia, történelem, társadalom tantárgy társelőadója volt. Fontos feladatokat vállalt a BME idegen nyelvű képzésében kitűnő angol és



1929-2014

német nyelvtudásának köszönhetően. Szakmai előrehaladásának fontos dátumai: 1956-tól adjunktus, 1969-ben lett a műszaki tudomány kandidátusa, 1964-től egyetemi docens, 1980-tól igazgatóhelyettes a Hő és rendszertechnikai Intézetben, 1994-től egyetemi tanár az Energetika Tanszéken, 1999-től professzor emeritus. Az alkalmazott termodinamika, ipari energiahatékonyság, hűtőtoronyok, energia és klíma és energiapolitika voltak kutatói munkásságának legfontosabb területei. A világban zajló folyamatok lényegét korán felismerte azokkal igyekezett megismertetni az energetikus társadalom mellett a szélesebb közvéleményt is. Évekkel korábban foglalkozott olyan területekkel, amelyek később a legfontosabb kérdései lettek az energetikának, mint a környezeti hatás, a klímaváltozás, a hatékonyság kérdései.

Számos tudományos közlemény, tanulmány könyvfejezet és önálló könyv őrzi e területeken kifejtett munkásságát. Évtizedekig tagja volt az MTA Energetikai Bizottságának. Az egyetemi oktató – kutató tevékenysége mellett professzor úr fontos nemzetközi projektben vitt jelentős szerepet, mint az Energia Charta Egyezmény Energiahatékonysági Jegyzőkönyv kidolgozása, alelnöke volt az Energia Charta

Egyezmény Állandó Bizottságának, szakértője volt az EU Közlekedési és Energia Főbizottságának, az OECD Nemzetközi Energia Ügynökségnek, a Klímaváltozási Kormányközi Testületnek, dolgozott a WEC londoni központjában, vendég professzor volt a Karlsruhei Műszaki Egyetemen.

A hazai energetikai közélet elismert szakértőjeként, számos hazai nagyvállalat felügyelő bizottsági tagjaként dolgozott a magyar energetika fejlődéséért és eredményességéért továbbá a haladó nemzetközi trendek itthoni érvényesüléséért. Rendszeres résztvevője, előadója volt a hazai és nemzetközi konferenciáknak ahol elismerés és megbecsülés kísérte tevékenységét. Jászay Tamás professzor urat generációkon át szerették diákjai, elsősorban kitűnő előadásai és a lényeges ismeretekre való rávilágítást segítő legendás mondásai miatt. Sokat tett azért, hogy a hallgatók megszeressék az energetikához kötődő szakmákat.

A magyar mérnöktársadalom, és a magyar energetikus közösség generációk tanítómesterét, kollégát és barátot veszített el benne. Tisztelet és szeretet professzor úr emlékét megőrizték, nyugodjék békében!



MVM Paksi Atomerőmű Zrt.

A Paksi Atomerőmű a magyar villamosenergia-ipar legnagyobb termelőegysége, hazánk egyetlen atomerőműve, egymaga gondoskodik az ország villamosenergia-termelésének feléről. Mindemellett üzemeltetése biztonságos, gazdaságos és környezetkímélő. Ezért is fontos, hogy az üzemidő-hosszabbítási programnak köszönhetően még további húsz évig gondoskodhasson az ellátásbiztonságról.

A Paksi Atomerőmű létesítése volt a XX. század legnagyobb ipari beruházása Magyarországon. Az atomerőmű névleges teljesítménye a teljesítménynövelő programnak köszönhetően ma már 2000 MW (megawatt). Ezzel a magyarországi villamosenergia-termelésben meghatározó szerepet tölt be. Az atomerőmű az egyéb villamos erőművekkel összehasonlítva a legkevésbé környezetszennyező, nem bocsát ki széndioxidot, ezzel évente 2 millió ember oxigénigényét takarítja meg, amely megegyezik a magyar erdők évi oxigéntermelésével. Így a Paksi Atomerőmű az ország számára mind energetikai, mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból nélkülözhetetlen.

Az atomenergia főbb jellemzői közé tartozik az olcsó, tiszta, biztonságos módon történő villamosenergia-előállítás. Megfizethető, hiszen az ország leggazdaságosabban termelő erőműve, tiszta, mert tevékenysége nem jár szén-dioxid kibocsátással, és más melléktermékével sem szennyezi a környezetet, a kiégett fűtőelemek és egyéb radioaktív hulladékok tárolása pedig megoldott, valamint biztonságos, mert rendszeres felülvizsgálatokkal és folyamatos fejlesztésekkel növelik megbízhatóságát és ellenálló-képességét. Az atomerőmű az ellátásbiztonság

meghatározó eleme: az atomerőműben két évre elegendő nukleáris üzemanyagkészlet van, tehát az ország villamosenergia-termelésének fele két évre előre biztosított.

A Paksi Atomerőmű biztonsága minden vonatkozásban megfelel az Európai Unióban működő, hasonló korú atomerőművek biztonságának. Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. vezetése átérzve az ország energiaellátása iránti felelősséget, olyan döntést hozott, hogy a nukleáris biztonság magas színvonalának megőrzése mellett 20 évvel – 2032- 2037-ig – meg kívánja hosszabbítani a blokkok üzemidejét. Az 1. blokk esetében az Országos Atomenergia Hivatal már megadta a szükséges engedélyeket, a 2013-as esztendő végén pedig a 2. blokkal kapcsolatos engedélykérelem benyújtása is megtörtént.

Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. térségének legnagyobb foglalkoztatója. Több mint kétezer-ötszáz munkavállalójának és a társaság beszállítóinak figyelembe vételével, azok családtagjaival együttesen, tízezres nagyságrendű azon emberek száma, akiknek hosszú távú, kiszámítható megélhetést biztosít a létesítmény működése. Az atomerőmű mellett, hogy már három évtizede meghatározó szereplője a régió gazdasági életének, annak társadalmi életében is jelen van. Az oktatás, egészségügy, sport és kultúra mind olyan területek, ahol nélkülözhetetlen támogató partnerként tekintenek az erőműre. A társaság számára fontos, hogy terveihez a magyar társadalom többségét támogatóként maga mögött tudja. A közvélemény kutatások évről évre bizonyítják, hogy a lakosság több mint 70%-a egyetért azzal, hogy Magyarországon atomerőmű működik.

Nukleáris hulladékok kezelési-reprocesszási technológiák: francia lehetőségek, tapasztalatok és jövő

Az Energetikai Szakkollégium (www.eszk.org) Bánki Donát emlékfélévének első előadására 2014. szeptember 18-án került sor. Ezen a különleges rendezvényen Henri Zaccai, a francia AREVA cég alelnöke tartott előadást a nukleáris hulladékok kezeléséről, illetve reprocesszáálásáról.

Az előadás első részéből megtudhattuk, hogy az elkövetkezendő húsz évben a regionális nukleáris kapacitások jelentős mértékű növekedése várható. Ez a felhasznált üzemanyagok kezelésének nem csak a fontosságát hangsúlyozza, hanem jövőbeli üzleti elterjedését is ösztönzi.

Elméletben minden üzemanyag-kezelési technológiának meghatározott



célokat kell teljesíteni. Ennek két fő ösztönzője a kockázat csökkentése, illetve a nukleáris rendszerek teljesítményének optimalizációja. Az újrahasznosítás során a hasznos anyagok a technológiai és gazdasági korlátoknak megfelelően hasznosításra kerülnek.

Előadónk ezek után ismertette Franciaország nukleáris ipari infrastruktúráját, illetve annak fejlettségét. Az infrastruktúra üzemének segítségével az AREVA képes az üzemanyag-ciklus bármely fázisában felmerülő problémák kezelésére. Egy optimalizált üzemanyag-ciklus példáját tekintve az EDF, ami a világ egyik vezető atomenergetikai vállalata, 1000 tonna/év (1% Pu/tonna) elhasznált üzemanyagot bocsát az AREVA rendelkezésére. Az újrahasznosítás után 120 tonna/év (8-10% Pu/tonna) újrahasznosított üzemanyag jut vissza az ügyfélhez, aki ezt újból fel tudja használni.

Előadásának utolsó részében Henri Zaccai az aktuális globális trendeket ismertette. Elmondta, hogy a világ nagyobb, nukleáris energetikával foglalkozó nemzeti alapvetően két jövőbeli megoldáson gondolkodik: az üzemanyagok újrahasznosításán, illetve a távoli jövő gyorsreaktorain. 2030-ra a világ üzemanyag-újrahasznosító lehetőségeinek jelentős növekedését várják, amely az éves termelt hulladék 40-60%-át képes lesz feldolgozni. A francia példa jól szemlélteti, hogy a feldolgozó technológiák könnyedén illeszthetők az ipari alkalmazásokhoz, illetve az elkövetkező évtizedekben a pénzügyi megszorítások változásával lehetőség adódik ezen technológiák elterjedésére.

Az Energetikai Szakkollégiumról és a rendezvényeiről bővebb információ a www.eszk.org honlapon található.

Bánki Donát Emlékfélév

Az Energetikai Szakkollégium 2014/2015-ös tanév őszi féléves programterve

2014. szeptember 18.	Treatment-recyclingtechnology: French capabilities, experience and future outlook	Henri Zaccai Vice-President, AREVA
2014. szeptember 25.	Bánki Donát energiafejlesztő gépeinek különleges szerkezeti megoldásai	Dr. habil Szunyogh Gábor OE egyetemi docens
2014. szeptember 26.	KUTATÓK ÉJSZAKÁJA	BME V1 épület aula
2014. október 2.	Black-out és rendszer-helyreállítás a villamosenergia-rendszerben	Decsi Gábor, Kapás Mihály, Zerényi József MAVIR Zrt.
2014. október 8.	ÜZEMLÁTOGATÁS	GE Turbinagyár Veresegyház
2014. október 13.	ÜZEMLÁTOGATÁS	ISD Dunaferri & Pannonia Ethanol
2014. október 16.	Korszerű szénerőművek helyzete a világban	Orosz Zoltán, ME Zrt.
2014. október 23-25.	KÜLFÖLDI ÜZEMLÁTOGATÁS	Szlovénia
2014. november 4.	ÜZEMLÁTOGATÁS	Mátrai Erőmű
2014. november 6.	A 15 hónapos üzemeltetési ciklus bevezetése a paksi VVER-440 blokkokon	Czibula Mihály projektfelelős, PA Zrt.
2014. november 12.	KIEMELT RENDEZVÉNY - FÓRUM	Paksi kapacitásfenntartás
2014. november 13.	4M MC és az európai villamos energia piacintegrációs törekvések	Bertalan Zsolt vezérigazgató, HUPX Zrt.
2014. november 20.	ÜZEMLÁTOGATÁS	CG Electric & Albertirsai alállomás
2014. november 25.	ÜZEMLÁTOGATÁS	KFKI Csillebérci kutatóközpontja
2014. december 4.	Németország, megújuló energiák rendszerirányítói szemmel	Előadó felkérés alatt

Az előadások helyszíne, időpontja: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Q épület BF13-as terem, 18:00

Bővebb információ a www.eszk.org honlapon olvasható.

A programváltozás jogát fenntartjuk.

ÉLETÜNK RÉSZE, JÖVŐNK ENERGIÁJA

A PAKSI ATOMERŐMŰ BIZTONSÁGOS
ÉS FOLYAMATOS ENERGIAELLÁTÁST NYÚJT.



Gáti Mariann – a Mesegaléria alapítója, Fadd

„Megteremtem a világomat, magam és mások öröme...”



paksi atomerőmű

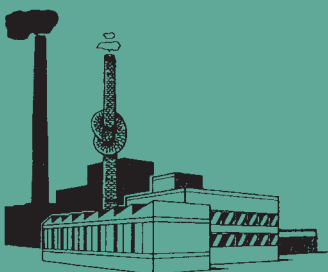
A BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
ENERGETIKAI GÉPEK ÉS RENDSZEREK TANSZÉK
rendezésében

HŐERŐGÉPEK ÉS KÖRNYEZETVÉDELEM

12. NEMZETKÖZI KONFERENCIA

*Megújuló Energiaforrások és Üzemanyagok Helye
az Energetikában*

PÉCS, 2015. május 27-29.



www.heep.energia.bme.hu

